

**UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA**

Faculdade de Ciências e Tecnologia  
Departamento de Engenharia Civil

# **Estudo do Comportamento Térmico de Edifícios Antigos**

## **Um Caso de Estudo**

João Filipe dos Santos Afonso

Dissertação apresentada na Faculdade de Ciências  
Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa para  
obtenção do grau Mestre em Engenharia Civil –  
Reabilitação de Edifícios

Orientador: Professor Doutor Daniel Aelenei

Monte de Caparica  
2009

## Agradecimentos

Em primeiro lugar, ao Professor Doutor Daniel Aelenei, por ter colaborado na escolha e orientação deste trabalho, que representa um tema actual, interessante e fundamental para o nosso País. Agradeço o apoio, a partilha do saber e as valiosas contribuições que me proporcionou e que determinaram de forma decisiva para a realização deste trabalho, sem as quais, a sua realização não seria possível.

Em segundo lugar, à Santa Casa da Misericórdia de Lisboa (SCML), na pessoa da Arquitecta Maria Manuela Damas Tiago, não só pela disponibilidade demonstrada ao longo da realização da presente dissertação mas também pelo fornecimento de informações sobre o edifício estudado, contribuindo, assim, de forma decisiva para o desenrolar do trabalho.

Aos meus pais e irmãos por razões óbvias. O apoio, a motivação e a ajuda constante foram estímulos fundamentais durante a elaboração da dissertação. Ao meu pai pela transmissão de alguma experiência e conhecimentos importantes, que foi adquirindo, ao longo dos anos, nesta área.

Um agradecimento muito especial à Cátia Pinto pelo apoio, compreensão e motivação incondicional que foram essenciais no desenvolvimento do trabalho.

Aos meus familiares e amigos pela amizade e simpatia que esteve sempre presente durante esta etapa.

## Resumo

Uma das preocupações dos projectistas aquando da construção de edifícios prende-se com a eficiência energética que os mesmos irão apresentar ao longo do seu tempo de vida útil. Esta questão é mais premente em Portugal em virtude de ser um dos países da União Europeia com maior dependência energética.

Sendo a energia um recurso cada vez mais caro, motivada pela crescente procura, e tendo em conta os escassos recursos energéticos e a poluição ambiental a eles associada, é necessário procurar soluções sustentáveis e implementar medidas adequadas para desagrar esta situação. O facto de Portugal ser um país importador de energia faz com que as questões energéticas sejam fundamentais para o desenvolvimento económico do país.

Sendo o sector dos edifícios responsável por uma percentagem considerável dos consumos energéticos registados, um dos desafios passa pela melhoria da eficiência energética dos edifícios, tanto novos como já existentes.

O presente trabalho insere-se no âmbito da preocupação existente no Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa com a eficiência energética dos edifícios, e visa a identificação das medidas de melhoria do comportamento térmico de um edifício antigo situado na cidade de Lisboa. Para tal, são identificadas e analisadas diferentes soluções que poderão ser aplicadas em reabilitação. As análises do comportamento térmico foram efectuadas quer com recurso ao método simplificado indicado no RCCTE, quer com recurso a um método de análise em regime dinâmico, utilizando para este efeito o software *Energy Plus*.

Posteriormente, serão comparados os resultados obtidos por ambos os métodos nas diferentes zonas que compõem o edifício e estudada a viabilidade económica de uma possível intervenção a aplicar no edifício a estudar.

**Palavras-chave:** dependência energética; comportamento térmico; reabilitação; RCCTE; *Energy Plus*

## Abstract

One concern of the designers with the construction of buildings is related with the energetic efficiency during its lifetime. This question is even more important in Portugal because it's one of the countries of the European Union with bigger energetic dependence.

Being energy an expensive resource, owing to the growing search, and taking into account the scarce energetic resources and the environmental pollution associated, is necessary to look for sustainable solutions and to implement appropriate measures to make amends to this situation. The fact of Portugal to be an importing country of energy makes the energetic questions fundamental for the economical development of the country.

The sector of the buildings is responsible for a considerable percentage of the energetic registered consumption, and one of the challenges passes by the improvement of its energetic efficiency, either new or as already existent.

The present work is inserted in the context of the existent preoccupation, in the Department of Civil Engineering of the Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, with the energetic efficiency of the buildings, and aims the identification of the measures of improvement of the thermal behaviour of an ancient building situated in the center of Lisbon. For such, different solutions are identified and analysed to be applied in rehabilitation. The thermal behaviour analyses were carried out either with resource to the simplified method indicated in the RCCTE, or with resource to a method of analysis in dynamic regime, using for this effect the software *Energy Plus*.

Subsequently, there will be compared the results obtained by both methods in the different zones that compose the building and studied the economical viability of a possible intervention to apply in the building to study.

**Key words:** energetic dependence; thermal behaviour; rehabilitation; RCCTE; *Energy Plus*

# Índice

Agradecimentos .....	ii
Resumo .....	iii
Abstract.....	iv
Índice .....	v
Índice de Figuras .....	vii
Índice de Quadros .....	x
Siglas .....	xi
Capítulo 1 – Introdução .....	1
1.1 - Motivação e Enquadramento do Tema.....	1
1.2 – Objectivos .....	2
1.3 – Plano de trabalho .....	3
Capítulo 2 – O caso de estudo .....	4
2.1 – Considerações Gerais .....	4
2.1.1 - A reabilitação como necessidade .....	4
2.1.2 – A Importância do RCCTE .....	5
2.2 - O edifício em estudo .....	6
2.2.1 - Introdução histórica.....	6
2.2.2 - Descrição do edifício em estudo .....	7
Capítulo 3 – Análise do comportamento térmico dos edifícios.....	9
3.1 Fenómenos de transferência de calor em edifícios .....	9
3.1.1 – Condução .....	9
3.1.2 – Convecção .....	10
3.1.3 – Radiação .....	11
3.2 – Introdução à análise estática e dinâmica.....	12
3.2.1 – Introdução .....	12
3.2.2 - Análise pelo RCCTE.....	13
3.2.3 - Descrição do Energy Plus .....	17
3.3 - As vantagens do uso do Energy Plus enquanto ferramenta de análise dinâmica .	21
3.3.1 – Ventilação .....	22
3.3.2 - Ganhos Internos .....	23
3.3.3 - Ganhos Solares .....	23
3.3.4 - Trocas de calor pelas Envolventes .....	23
3.4 - Metodologia utilizada para definição do problema em estudo .....	24
3.4.1 - Simulation Parameters .....	24
3.4.2 - Location and Climate .....	26
3.4.3 - Schedules.....	27
3.4.4 - Surface Construction Elements .....	28
3.4.5 - Thermal Zones and Surfaces .....	30
3.4.6 - Advanced Surface Concepts.....	33
3.4.7 - Internal Gains .....	34
3.4.8 - Zone Airflow .....	35
3.4.9 - Zone HVAC Controls and Thermostats .....	36

3.4.10 - Zone HVAC Forced Air Units .....	37
3.4.11 - Zone HVAC Equipment Connections .....	37
3.4.12 - Node-Branch Management .....	37
3.4.13 - Report .....	38
3.5 - Outros Pressupostos .....	39
Capítulo 4 - Análise do comportamento térmico do edifício para as soluções construtivas actuais .....	43
4.1 - Temperatura Interior .....	43
4.2 - Análise dos resultados fornecidos pelo Energy Plus para a estação de aquecimento (Inverno).....	45
4.2.1 - Análise da evolução das necessidades energéticas (Inverno) .....	47
4.3 - Análise dos resultados fornecidos pelo Energy Plus para a estação de arrefecimento (Verão).....	50
4.3.1 - Análise da evolução das necessidades energéticas (Verão).....	51
4.4 - Comparação entre os resultados obtidos pelo Energy Plus e RCCTE .....	54
Capítulo 5 - Reabilitação térmica .....	57
5.1 - Soluções para reabilitação térmica de edifícios .....	57
5.1.1 - Reabilitação térmica de paredes exteriores .....	57
5.1.2 - Reabilitação térmica de pavimentos.....	62
5.1.3 - Reabilitação térmica de coberturas .....	63
5.2 - Solução de reabilitação adoptada .....	64
Capítulo 6 - Análise do comportamento térmico do edifício após reabilitação .....	65
6.1 - Evolução das necessidades energéticas após reabilitação na estação de aquecimento (Inverno) – Estratégia A.....	65
6.2 - Evolução das necessidades energéticas após reabilitação na estação de arrefecimento (Verão) – Estratégia A.....	70
6.3 - Comparação entre os resultados obtidos pelo Energy Plus e RCCTE, após reabilitação – Estratégia A.....	76
6.4 - Estratégias atinentes às infiltrações – Estratégia A + B .....	78
Capítulo 7 - Estimativa de custos .....	81
7.1 - Reabilitação Global .....	81
7.2 - Reabilitação Térmica.....	85
7.3 - Rentabilidade da Reabilitação Térmica.....	86
Capítulo 8 – Conclusões .....	89
Referências Bibliográficas.....	93
ANEXOS .....	95
ANEXO I.....	96
ANEXO II.....	98
ANEXO III .....	102

## Índice de Figuras

Figuras 2.1 e 2.2 – Fotografias dos alçados principal e tardoz do edifício em estudo .....	8
Figura 3.1 – Mecanismo de transferência de calor por convecção.....	10
Figura 3.2 – Diagrama de funcionamento do <i>Energy Plus</i> .....	18
Figura 3.3 – Diagrama dos dados de entrada e saída do <i>Energy Plus</i> .....	21
Figura 3.4 – Arquivo de entrada do <i>Energy Plus</i> .....	26
Figura 3.5 – Definição da temperatura do terreno no <i>Energy Plus</i> .....	27
Figura 3.6 – Definição das Schedules no <i>Energy Plus</i> .....	28
Figura 3.7 – Definição dos materiais no <i>Energy Plus</i> .....	29
Figura 3.8 – Definição das soluções construtivas no <i>Energy Plus</i> .....	29
Figura 3.9 – Definição do sentido de orientação para elaboração da geometria do edifício no <i>Energy Plus</i> .....	31
Figura 3.10 – Definição da geometria do edificio no <i>Energy Plus</i> .....	32
Figura 3.11 – Definição das condições das superfícies exteriores das paredes em contacto com os edifícios adjacentes no <i>Energy Plus</i> .....	34
Figura 3.12 – Definição dos ganhos internos no <i>Energy Plus</i> .....	35
Figura 3.13 – Definição das taxas de renovações horárias no <i>Energy Plus</i> .....	36
Figura 4.1 – Evolução da temperatura média mensal.....	43
Figura 4.2 - Evolução da temperatura no dia 31 de Janeiro .....	44
Figura 4.3 - Evolução da temperatura no dia 15 de Julho .....	44
Figura 4.4 – Temperaturas e necessidades energéticas no Inverno para o 1º piso .....	47
Figura 4.5 – Temperaturas e necessidades energéticas no Inverno para o 2º piso .....	48
Figura 4.6 – Temperaturas e necessidades energéticas no Inverno para o 3º piso .....	48
Figura 4.7 – Temperaturas e necessidades energéticas no Inverno para o 4º piso .....	48
Figura 4.8 – Temperaturas e necessidades energéticas no Inverno para o 5º piso .....	49
Figura 4.9 – Temperaturas e necessidades energéticas no Inverno para o sótão.....	49
Figura 4.10 – Temperaturas e necessidades energéticas no Verão para o 1º piso.....	51
Figura 4.11 – Temperaturas e necessidades energéticas no Verão para o 2º piso.....	52
Figura 4.12 – Temperaturas e necessidades energéticas no Verão para o 3º piso.....	52
Figura 4.13 – Temperaturas e necessidades energéticas no Verão para o 4º piso.....	52
Figura 4.14 – Temperaturas e necessidades energéticas no Verão para o 5º piso.....	53
Figura 4.15 – Temperaturas e necessidades energéticas no Verão para o sótão .....	53

Figura 4.16 – Comparação dos valores das perdas e ganhos no Inverno, antes da reabilitação.....	54
Figura 4.17 – Comparação dos valores das perdas e ganhos no Verão, antes da reabilitação.....	55
Figura 6.1 – Distribuição das temperaturas horárias, na última semana de Janeiro, para o primeiro piso.....	65
Figura 6.2 – Evolução das necessidades energéticas horárias, na última semana de Janeiro, para o primeiro piso .....	66
Figura 6.3 – Distribuição das temperaturas horárias, na última semana de Janeiro, para o segundo piso .....	66
Figura 6.4 – Evolução das necessidades energéticas horárias, na última semana de Janeiro, para o segundo piso.....	66
Figura 6.5 – Distribuição das temperaturas horárias, na última semana de Janeiro, para o terceiro piso .....	67
Figura 6.6 – Evolução das necessidades energéticas horárias, na última semana de Janeiro, para o terceiro piso.....	67
Figura 6.7 – Distribuição das temperaturas horárias, na última semana de Janeiro, para o quarto piso .....	67
Figura 6.8 – Evolução das necessidades energéticas horárias, na última semana de Janeiro, para o quarto piso.....	68
Figura 6.9 – Distribuição das temperaturas horárias, na última semana de Janeiro, para o quinto piso .....	68
Figura 6.10 – Evolução das necessidades energéticas horárias, na última semana de Janeiro, para o quinto piso.....	68
Figura 6.11 – Distribuição das temperaturas horárias, na última semana de Janeiro, para o sótão.....	69
Figura 6.12 – Evolução das necessidades energéticas horárias, na última semana de Janeiro, para o sótão .....	69
Figura 6.13 – Evolução das necessidades energéticas antes e após a reabilitação, na terceira semana de Julho, o primeiro piso .....	70
Figura 6.14 – Distribuição das temperaturas e das necessidades energéticas diárias, na terceira semana de Julho, para o primeiro piso .....	71
Figura 6.15 – Evolução das necessidades energéticas antes e após a reabilitação, na terceira semana de Julho, para o segundo piso.....	71



Figura 6.16 – Distribuição das temperaturas e das necessidades energéticas diárias, na terceira semana de Julho, para o segundo piso.....	71
Figura 6.17 – Evolução das necessidades energéticas antes e após a reabilitação, na terceira semana de Julho, para o terceiro piso .....	72
Figura 6.18 – Distribuição das temperaturas e das necessidades energéticas diárias, na terceira semana de Julho, para o terceiro piso .....	72
Figura 6.19 – Evolução das necessidades energéticas antes e após a reabilitação, na terceira semana de Julho, para o quarto piso .....	72
Figura 6.20 – Distribuição das temperaturas e das necessidades energéticas diárias, na terceira semana de Julho, para o quarto piso .....	73
Figura 6.21 – Evolução das necessidades energéticas antes e após a reabilitação, na terceira semana de Julho, para o quinto piso .....	73
Figura 6.22 – Distribuição das temperaturas e das necessidades energéticas diárias, na terceira semana de Julho, para o quinto piso .....	73
Figura 6.23 – Evolução das necessidades energéticas antes e após a reabilitação, na terceira semana de Julho, para o sótão .....	74
Figura 6.24 – Distribuição das temperaturas e das necessidades energéticas diárias, na terceira semana de Julho, para o sótão .....	74
Figura 6.25 – Comparação dos valores das perdas e ganhos no Inverno, após reabilitação.....	77
Figura 6.26 – Comparação dos valores das perdas e ganhos no Verão, após reabilitação.....	77
Figura 6.27 – Comparação das necessidades de energia para aquecimento para taxas de renovações horárias constante e variável, durante o período de Inverno. ....	79
Figura 6.28 – Comparação das necessidades de energia para arrefecimento para taxas de renovações horárias constante e variável, durante o período de Verão. ....	80
Figura 7.1 – Comparação dos custos necessários para a obtenção do conforto térmico interior, com e sem reabilitação térmica, ao longo dos anos.....	87

## Índice de Quadros

Quadro 3.1 – Aspectos positivos e negativos do ponto de vista térmico do edifício .....	15
Quadro 3.2 – Necessidades energéticas obtidas com aplicação do RCCTE .....	16
Quadro 3.3 – Percentagens relativas à actividade das portadas .....	39
Quadro 3.4 – Energia necessária para desempenhar as funções de escritório.....	40
Quadro 3.5 – Energia necessária para desempenhar as funções de cozinha e limpeza..	40
Quadro 3.6 – Percentagem de trabalhadores a desempenhar as funções no escritório ..	41
Quadro 3.7 – Percentagem de empregados a desempenhar as suas funções .....	41
Quadro 3.8 – Funcionamento dos sistemas de iluminação nas zonas de escritório .....	41
Quadro 3.9 – Funcionamento dos sistemas de iluminação no sótão .....	42
Quadro 3.10 - Funcionamento dos equipamentos de escritório .....	42
Quadro 3.11 - Funcionamento dos equipamentos do sótão .....	42
Quadro 4.1 – Valores das perdas e ganhos durante o Inverno .....	45
Quadro 4.2 – Perdas e ganhos obtidos durante o Verão, antes da reabilitação .....	50
Quadro 6.1 – Perdas e ganhos obtidos durante o Inverno, após reabilitação .....	75
Quadro 6.2 – Perdas e ganhos obtidos durante o Verão, após reabilitação .....	76
Quadro 7.1 – Estrutura de custos para o edifício em estudo .....	82
Quadro 7.2 – Estados de degradação física a considerar para o edifício.....	83
Quadro 7.3 – Percentagem de degradação física do edifício.....	84
Quadro 7.4 – Custo por metro quadrado da reabilitação dos elementos da envolvente.	85
Quadro 8.1 – Necessidades energéticas do edifício antes e após reabilitação.....	92

## **Siglas**

Neste trabalho são utilizadas algumas siglas de forma a simplificar a escrita e a leitura do mesmo.

As siglas utilizadas ao longo da dissertação encontram-se identificadas abaixo, por ordem alfabética, juntamente com o seu significado:

BCSD – Conselho Empresarial Desenvolvimento Sustentável

CAD – Computer-Aided Design

CEE – Comunidade Económica Europeia

EDP – Energia de Portugal

EPS – Expandable Polystrene

ETICS – External Thermal Insulation Composite Systems

IDF – Input Date File

INE – Instituto Nacional de Estatística

LabEEE – Laboratório de Eficiência Energética em Edificações

RCCTE – Regulamento das Características do Comportamento Térmico dos Edifícios

# Capítulo 1 – Introdução

## 1.1 - Motivação e Enquadramento do Tema

Desde a antiguidade que o homem se preocupa em construir, criando as primeiras casas, ou cabanas, de modo a se poder resguardar e proteger de uma melhor forma face aos condicionalismos atmosféricos. Assim, foram surgindo os primeiros aldeamentos e o consequente crescimento da população.

Os poucos conhecimentos existentes na área da construção civil levaram a que muitas das casas fossem criadas por tentativa e erro, com recurso aos materiais que se encontravam disponíveis numa instância próxima do local a habitar. Assim, a relação das construções com o clima e os recursos naturais disponíveis nos mesmos locais era inevitável. O interior era composto por uma única divisão, com bancos de pedra encostados às paredes e uma lareira central para aquecimento nos períodos mais frios.

No entanto, com o passar dos anos, o homem evoluiu juntamente com as suas tecnologias. Assim, a melhoria da qualidade construtiva e do conforto interior passou a ser uma preocupação cada vez maior para o ser humano. Deste modo, o recurso a equipamentos artificiais como forma de obtenção de conforto passou a ser encarado como uma solução viável e eficaz para atingir alguns dos objectivos pretendidos.

No entanto, nos dias de hoje, o aquecimento global e os desafios energéticos a si associados obrigam a que os consumos de energia para a obtenção de conforto sejam diminuídos. A entrada de Portugal na CEE, proporcionou a entrada da primeira regulamentação térmica no país, que data 1990. Esta regulamentação introduziu valores limites das necessidades consideradas aceitáveis para os edifícios, partindo de uma análise estática.

Com o evoluir dos anos, a análise dinâmica para o estudo térmico evidenciou-se, tornando-se uma ferramenta quase indispensável para as análises mais precisas, que se pretendam desenvolver para avaliação das soluções a considerar para o edifício em análise, auxiliando deste modo o projectista na escolha da solução que mais benefícios poderá trazer ao edifício a construir.

Como é do conhecimento geral, muitos dos edifícios não reúnem as condições mínimas para satisfazer as exigências de conforto térmico, dado as suas soluções construtivas não serem as mais apropriadas. Esta questão deverá merecer uma especial atenção por parte dos

engenheiros civis, aquando da construção ou reabilitação de um edifício, de forma a poder alterar este facto.

O conforto térmico é entendido, nos tempos de hoje, como uma condição essencial e indiscutível para o bem-estar dos moradores, por isso o seu estudo e importância são evidentes. A dissertação em causa consiste essencialmente em estudar e analisar as medidas possíveis de reabilitação a aplicar a um edifício antigo, de acordo com as exigências preconizadas no RCCTE – Regulamento das Características do Comportamento Térmico dos Edifícios [1], de modo a melhorar o seu conforto térmico interior, sem recorrer a um uso exagerado de equipamentos para fins de aquecimento/arrefecimento, conduzindo a menores gastos de energia. Deste modo, haverá também uma consequente diminuição dos efeitos patológicos derivados de condensações nos elementos da envolvente dos edifícios.

O RCCTE foi assim criado para responder aos desafios energético-ambientais dos edifícios. Actualmente, em Portugal, o património construído conta com um número significativo de edifícios que apresentam soluções construtivas com qualidade térmica deficiente.

No âmbito da problemática energética em edifícios, o presente trabalho pretende conjugar algumas das medidas propostas, de forma a melhorar o comportamento térmico do edifício em causa.

## **1.2 – Objectivos**

O objectivo principal deste trabalho é avaliar o comportamento térmico de um edifício antigo em condições de utilização de Inverno e Verão, de modo a poder identificar medidas de reabilitação térmica adequadas ao seu estado actual. Para tal, recorre-se a métodos de análise estática e dinâmica. Enquanto a análise em regime estático é baseada na metodologia indicada no RCCTE, para efeitos de avaliação do comportamento térmico em regime dinâmico recorre-se ao software *Energy Plus*.

Os resultados obtidos pelos dois métodos de análise, do ponto de vista das necessidades energéticas associadas às várias zonas em estudo, são comparados entre si, e as diferenças devidamente justificadas e comentadas.

O trabalho visa ainda a análise da viabilidade económica das medidas adoptadas tendo em conta o período de investimento associado.

## 1.3 – Plano de trabalho

Com vista a facilitar a compreensão dos resultados obtidos na elaboração da dissertação é apresentado em primeiro lugar alguma teoria relacionada com a temática da térmica dos edifícios. De seguida, são analisados e comentados os resultados obtidos do estudo feito ao edifício em causa.

Deste modo, a presente dissertação divide-se em 8 capítulos de acordo com a descrição que se apresenta de seguida:

O primeiro capítulo corresponde à introdução do trabalho, referenciando a motivação e enquadramento do tema, os objectivos e o plano de trabalho.

O segundo capítulo é dedicado à descrição do edifício em estudo, do ponto de vista arquitectónico e das alterações construtivas verificadas desde a data de construção até aos dias de hoje. Este capítulo realça ainda a importância da regulamentação térmica na melhoria da qualidade e conforto térmico dos edifícios.

O terceiro capítulo referencia os fenómenos de transferência de calor que se verificam no campo da engenharia civil e descreve os dois métodos de análise utilizados para a elaboração do estudo ao comportamento térmico do edifício. Nele é apresentada uma descrição sintética do programa utilizado para efeitos da análise do comportamento em regime dinâmico, *Energy Plus*, realçando os grupos e campos utilizados para a elaboração deste trabalho. Neste capítulo encontram-se ainda indicados os pressupostos considerados aquando da análise dinâmica, com recurso ao *Energy Plus*.

O quarto capítulo apresenta os resultados obtidos pelas duas fontes adoptadas, o RCCTE e o *Energy Plus*, para efeitos da análise ao comportamento térmico do edifício estudado, para as soluções construtivas actuais.

O quinto capítulo descreve diferentes soluções de reabilitação térmica possíveis a aplicar em edifícios.

O sexto capítulo apresenta os resultados obtidos pelos dois métodos de análise do comportamento térmico do edifício, para o edifício, após a sua reabilitação. Neste capítulo é ainda adoptada uma estratégia ao nível da infiltração do ar de forma a reduzir as necessidades energéticas do edifício a analisar.

No sétimo capítulo consta uma estimativa de custo da reabilitação global e reabilitação térmica do edifício, indicando o ano a partir do qual se verifica a rentabilização do investimento feito.

Por último, o oitavo capítulo corresponde às conclusões obtidas da realização da dissertação.

## Capítulo 2 – O caso de estudo

### 2.1 – Considerações Gerais

#### 2.1.1 - A reabilitação como necessidade

Em virtude do presente trabalho abordar a reabilitação, é importante começar por definir o seu significado.

Reabilitar um edifício significa aumentar os seus padrões de qualidade. A importância de reabilitar é evidente na medida em que só assim se consegue melhorar a qualidade e desacentuar a degradação contínua do património edificado.

A reabilitação não é sinónimo de conservação e restauro. O termo conservação refere-se fundamentalmente a edifícios históricos. Trata-se de preservar, sem refazer nem modificar o que existe, de modo a que o seu tempo de vida útil possa ser prolongado por mais tempo, mantendo-se a originalidade do mesmo. Por outro lado, restaurar consiste em fazer algo que já não existe, pelo que é um conceito com pouca utilização no património imóvel.

De acordo com o *BCSD Portugal*<sup>1</sup>, a percentagem de reabilitação em Portugal é inferior a 10% do sector da engenharia civil, ao passo que nos restantes países europeus o investimento em reabilitação ronda os 40 ou 50% [20]. Apesar destes dados serem meramente estatísticos, demonstram, de modo claro, a existência de um desnível muito grande na aplicação da reabilitação nos edifícios em Portugal comparativamente com a restante Europa. Há, portanto, uma necessidade de evoluir no sentido de poder contrariar a estatística e tornar-nos um país mais moderno, com ideias e um sector de construção mais abrangente.

Dados obtidos na *Energy Bus*<sup>2</sup> indicam que 22% do consumo global de energia em Portugal está ao cargo dos serviços e das habitações, estando este valor sujeito a um aumento constante ao longo dos anos. Segundo a mesma fonte a incorporação de medidas de eficiência

---

<sup>1</sup> O *BCSD Portugal* (Conselho Empresarial para o Desenvolvimento Sustentável) é uma associação sem fins lucrativos que objectiva promover nas empresas a eco-eficiência, a inovação e a responsabilidade social.

<sup>2</sup> A *Energy Bus* pertence à comunidade ECO, da EDP (Energia de Portugal), e consiste num programa de promoção da eficiência energética. A *Energy Bus* percorre o país com a finalidade de sensibilizar a população para a problemática energética existente.

energética ao nível da concepção e exploração dos edifícios é fundamental para reduzir as suas necessidades energéticas futuras durante o seu tempo de vida útil [14].

No entanto, quando se pretende realizar uma reabilitação térmica num edifício, há que conhecer diversos aspectos relacionados com o mesmo, tais como a sua idade e as tipologias construtivas existentes, de forma a conhecer à partida qual o desempenho térmico do edifício e que tipo de intervenção poderá ser feita para melhorar o seu comportamento.

De acordo com o INE, são cerca de 80% os edifícios em Portugal construídos antes da entrada em vigor do primeiro regulamento térmico, o que prevê a existência de um vasto património com deficiente qualidade térmica. Em Lisboa este facto é ainda mais relevante, uma vez a percentagem ultrapassar os 90% [15].

Reabilitar termicamente torna-se necessário quando se pretende melhorar as condições ambientais interiores, reduzir os consumos de energia e corrigir situações anómalas previamente identificadas.

Há, portanto, que analisar e estudar bem o edifício de forma a saber se as suas características térmicas são, ou não, as mais adequadas.

### **2.1.2 – A Importância do RCCTE**

O primeiro RCCTE surgiu em 1990 através da imposição de algumas exigências na construção, como forma de melhorar a qualidade térmica da construção existente em Portugal. Apesar desta versão ter conseguido alguns resultados positivos, foi considerada por muitos como “pouco exigente”. Foi então que surgiu a nova e actual versão do RCCTE [1].

Com o aparecimento do regulamento a construção em Portugal melhorou significativamente. As paredes da envolvente dos edifícios começaram a ser incorporadas por uma camada de isolamento térmico, permitindo assim que as variações de temperatura exteriores tivessem um menor impacto no interior das habitações. Esta mudança no processo construtivo visou refrear o uso exagerado de equipamentos artificiais para aquecimento e arrefecimento.

O actual RCCTE sujeitou muitos dos edifícios existentes a processos de requalificação e reabilitação. Assim, actualmente, a regulamentação térmica ganha uma enorme importância nos campos da construção e reabilitação de edifícios, tornando-se deste modo uma mais-valia na melhoria do conforto térmico interior dos edificados.



No caso de reabilitação, se o custo da intervenção for superior a 25% do custo do edifício, o regulamento obriga ao seu cumprimento. Todavia, monumentos e edifícios classificados e com valor histórico sujeitos a intervenção, não necessitam de cumprir o regulamento, independentemente do custo de intervenção relativamente ao do edifício.

## **2.2 - O edifício em estudo**

### **2.2.1 - Introdução histórica**

Uma vez este trabalho se concentrar sobre um edifício da era pombalina, é útil que se conheça um pouco do passado e da história deste tipo de edifícios.

No dia 1 de Novembro de 1755, Lisboa foi destruída por um terrível terramoto que atingiu a intensidade X da escala de Mercalli. Na sequência deste terramoto, ficaram destruídas 17 mil casas, das 20 mil existentes, 35 igrejas em 40 e a totalidade dos 6 hospitais.

Foi então nessa altura que o engenheiro Manuel da Maia ficou encarregado de elaborar os planos para a reconstrução da cidade, apresentando as seguintes propostas:

1. Reconstruir a cidade tal qual era dantes, embora com alguns melhoramentos: ruas mais largas e casas mais modernas.
2. Deixar que Lisboa crescesse ao acaso e conforme a vontade e o gosto dos moradores, construindo uma nova capital na zona de Belém.
3. Remover os entulhos dos edifícios em ruínas e elaborar um plano moderno para a zona central da cidade, a Baixa.

Das hipóteses apresentadas, o Marquês de Pombal e o Rei decidiram-se pela terceira. Foi então desenvolvido o sistema de construção anti-sísmica mais avançado e elegante do século XVIII, a gaiola, baseado em paredes exteriores de alvenaria de grande espessura e em pisos térreos também de alvenaria.

A Baixa Pombalina destacou-se deste modo como um bem universal excepcional por se tratar não só de um exemplo eminente de tipologias de construção, mas também um conjunto arquitectónico-tecnológico, onde as soluções técnicas se combinaram de forma complexa e original.

Apesar das suas vantagens indiscutíveis, muitos dos edifícios pombalinos foram alterados ao longo do tempo. A alteração estrutural das lajes e a remoção das paredes interiores de tabique têm retirado alguma resistência aos edifícios, principalmente no que respeita à sua resistência sísmica.

Dado esta tipologia de edifícios surgir num período em que não havia padrões de qualidade térmica, torna-se importante o estudo do seu comportamento térmico, como forma de conhecer as suas necessidades energéticas e vantagens/inconvenientes à luz da regulamentação actual.

### **2.2.2 - Descrição do edifício em estudo**

O edifício em estudo, que se apresenta nas Figuras 2.1 e 2.2, localiza-se em Lisboa, na Calçada do Ferragial, e é constituído por uma única fracção autónoma.

Apesar do edifício ter sido construído para fins de habitação, está prevista a utilização do seu espaço para escritórios.

No que respeita à sua tipologia, o edifício encontra-se agrupado no grupo de edifícios Pombalinos. Devido às inúmeras alterações a que o edifício tem sido sujeito, desconhece-se o ano exacto da sua construção. Contudo, de acordo com informação obtida junto do Ministério da Cultura, presume-se que o edifício tenha sido construído entre o fim do Século XVIII e o início do Século XIX e que terá sofrido, em meados dos anos 60, alterações profundas a nível estrutural. Das mais significativas, constam a alteração do sistema estrutural interior, com a substituição dos barrotes de madeira por lajes de betão armado vigadas, e o acréscimo do quinto piso e do sótão que, por sua vez, resulta do aproveitamento do desvão da cobertura. É no sótão que se encontra a cozinha do edifício, sendo, deste modo, considerado, a nível de análise térmica, um espaço útil.

Para uma melhor visualização e percepção da arquitectura do edifício são apresentados no Anexo I os desenhos arquitectónicos referentes aos alçados principal e tardoz.



Figuras 2.1 e 2.2 – Fotografias dos alçados principal e tardoz do edifício em estudo

## Capítulo 3 – Análise do comportamento térmico dos edifícios

### 3.1 Fenómenos de transferência de calor em edifícios

No caso dos edifícios, as trocas de calor ocorrem essencialmente através da envolvente exterior. No entanto, a existência de compartimentos com diferentes temperaturas, origina igualmente trocas de calor dentro da habitação.

Os três mecanismos de transferência de calor são a condução, a convecção e a radiação.

Enquanto a condução e a convecção exigem a presença de um meio material para que aconteçam, a transmissão de calor por radiação é independente de qualquer meio.

Seguidamente passa-se a descrever, sucintamente, cada um dos processos:

#### 3.1.1 – Condução

A condução é a forma de transferência de calor que geralmente ocorre nos sólidos. O fenómeno de condução surge como resultado das colisões entre moléculas de uma dada substância e da sua subsequente energia cinética. Para tal, é necessário que as partículas que formam o corpo se encontrem muito próximas umas das outras. A ocorrência deste processo permite a transmissão de energia das partículas com maior temperatura às que apresentam temperatura inferior.

A Lei que rege os fenómenos de transferência de calor por condução é a Lei de Fourier (1). Esta Lei permite determinar o fluxo de calor transportado por condução entre duas superfícies através conhecimento da condutibilidade térmica, da área e do gradiente de temperatura:

$$Q_{cond} = -\lambda \cdot A \cdot \frac{dT}{dx} \Rightarrow Q_{cond} = \lambda \cdot A \cdot \frac{T_1 - T_2}{\Delta x} \quad (1)$$

em que:

$Q_{cond}$  – a quantidade de calor transferido por condução (W)

$\lambda$  – a condutibilidade térmica do elemento (W/m.°C)

$A$  – a área da superfície (m<sup>2</sup>)

$\frac{dT}{dx}$  – o gradiente de temperatura

Existem materiais, como os metais, com maior capacidade de condução de calor e outros, como a cortiça, com menor capacidade, podendo alguns destes últimos serem utilizados como isolantes térmicos.

Na análise do processo de transmissão de calor por condução, na envolvente de um edifício, é usual considerar-se o fluxo de calor como unidireccional devido à altura ser muito superior à espessura. No entanto, caso o edifício possua pilares e vigas na sua envolvente, deverão ser igualmente considerados os fluxos de calor nas outras direcções, devido ao facto desses elementos apresentarem uma baixa resistência térmica.

No edifício em estudo, em virtude deste apresentar a envolvente em alvenaria de pedra, poder-se-á admitir a simplificação acima descrita.

### 3.1.2 – Convecção

Ao contrário do que sucede na condução, a convecção ocorre principalmente em líquidos e gases. A convecção é a principal razão de troca de calor entre superfícies sólidas e gases ou líquidos, ou simplesmente entre estes dois últimos. Quando a troca de calor se dá entre fluidos, o fluido a temperatura mais elevada, por ser menos denso, tende a subir. O inverso acontece com o fluido mais frio. Este deslocamento, por diferenças de temperatura, deve-se às forças de impulsão.

O movimento do fluido pode ser natural ou forçado. Considera-se natural se o movimento resultar das forças de impulsão, existentes devido às diferenças de densidade, e forçado se for induzido por uma força externa. Podem-se considerar como forças externas o vento ou qualquer equipamento que faça o fluido mover-se.

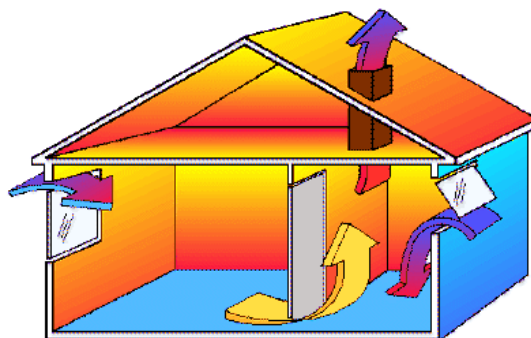


Figura 3.1 – Mecanismo de transferência de calor por convecção [18]

A Lei do Arrefecimento, formulada por Newton permite determinar o fluxo de calor, por convecção, entre uma superfície sólida e um fluido. No caso de um edifício, a superfície sólida corresponde à envolvente e o fluido ao ar que se encontra em contacto com ela.

A Lei do Arrefecimento é traduzida pela seguinte expressão matemática (2):

$$Q_{conv} = h_c \cdot A_s \cdot (T_s - T_\infty) \quad (2)$$

em que:

$Q_{conv}$  – quantidade de calor transmitida (W)

$h_c$  – condutância térmica superficial por convecção (W/m<sup>2</sup>.°C)

$A_s$  – área superficial de contacto entre o elemento sólido e o fluido (m<sup>2</sup>)

$T_s$  – temperatura superficial do sólido (°C)

$T_\infty$  – temperatura do fluido (°C)

### 3.1.3 – Radiação

O processo de transmissão de calor por radiação é conseguido pela propagação de ondas electromagnéticas. Este processo distingue-se dos anteriores pelo facto de não necessitar de qualquer meio material para que a transferência de energia aconteça, dado esta se propagar no vácuo.

Cada superfície possui uma determinada capacidade de emitir radiação e a essa característica é dado o nome de emissividade. Os valores da emissividade podem variar entre 0 e 1, dependendo da capacidade do corpo de não emitir ou de emitir toda a energia, respectivamente. Estes valores são, no entanto, meramente teóricos pois não se verificam na realidade. A um corpo que apresenta uma emissividade igual a 1 dá-se o nome de corpo negro (corpo ideal). Num corpo negro não se verificam reflexões, pelo que toda a energia incidente é absorvida e posteriormente emitida. Contrariamente, num corpo com emissividade 0, toda a energia incidente é reflectida.

De salientar ainda que um bom emissor é também um bom absorvedor de energia. Quanto mais energia um corpo absorve maior será a radiação emitida.

A Lei de Stefan-Boltzmann (3) e (4) diz que a energia total emitida por segundo e por unidade de área de uma superfície é proporcional à quarta potência da temperatura absoluta da

superfície. No entanto, a expressão pode-se apresentar de duas maneiras distintas, de acordo com o local de propagação de energia por parte do emissor:

- Se se considerar uma superfície a emitir livremente para o espaço (3):

$$q_{rad} = \varepsilon \cdot \sigma \cdot S \cdot T^4 \quad (3)$$

- Se se tiver uma superfície à temperatura  $T_1$  emitindo para um meio à temperatura  $T_2$  (4):

$$q_{rad} = \varepsilon \cdot \sigma \cdot S \cdot (T_1^4 - T_2^4) \quad (4)$$

em que:

$q$  – calor transmitido por radiação (W)

$\varepsilon$  – emissividade da superfície ( $m^2$ )

$\sigma$  – constante de Stefan-Boltzmann ( $\sigma = 5.67 \times 10^{-8} W \cdot m^{-2} \cdot K^{-4}$ )

$S$  – área da superfície emissora

$T$  – temperatura absoluta (K)

$T_1$  e  $T_2$  – temperaturas superficiais (K)

Uma parte da radiação solar que incide num edifício é reflectida, outra absorvida e a restante transmitida. Alguma da energia transmitida flui para o interior da habitação através de fenómenos de condução que, posteriormente, dão origem a mecanismos de convecção superficial (sólido-fluido). Por outro lado dentro da habitação poder-se-ão gerar fenómenos de convecção entre fluidos, dando, assim, origem aos três mecanismos de transferência de calor.

## 3.2 – Introdução à análise estática e dinâmica

### 3.2.1 – Introdução

Na realização deste trabalho foram empregadas duas ferramentas para o estudo do comportamento térmico do edifício. Uma das ferramentas utilizadas foi o RCCTE, que possibilitou o cálculo das necessidades energéticas do edifício em períodos de aquecimento e arrefecimento, recorrendo a uma análise de comportamento térmico do tipo “estática”. O objectivo desta abordagem consistiu em analisar o edifício à luz da regulamentação

actualmente em vigor de modo a poder avaliar a necessidade de intervenção do ponto de vista da reabilitação.

A outra ferramenta utilizada foi o programa *Energy Plus*. Ao contrário da metodologia indicada pelo RCCTE, esta ferramenta, baseia-se numa metodologia de cálculo dinâmico, facto que permite aumentar o rigor aquando da avaliação do comportamento térmico do edifício em causa. Uma outra vantagem do *Energy Plus* consiste na sua versatilidade quanto à possibilidade de empregar um elevado número de parâmetros para efeito da análise de sensibilidade térmica e de permitir ainda, contrariamente ao RCCTE, a avaliação de um número ilimitado de zonas térmicas pertencentes à mesma fracção autónoma.

### **3.2.2 - Análise pelo RCCTE**

Tendo em conta que um edifício pode revelar um comportamento térmico deficiente somente numa das estações de referência, Inverno ou Verão, a análise, com recurso ao RCCTE, é feita, separadamente para ambas as estações.

A descrição que se segue refere os principais aspectos a ter em conta na determinação das necessidades energéticas do edifício para ambos os períodos.

Na estação de aquecimento (Inverno), o comportamento térmico do edifício é determinado pelo seguinte conjunto de perdas e ganhos:

- ❖ Perdas associadas à envolvente exterior;
- ❖ Perdas associadas à envolvente interior;
- ❖ Perdas associadas aos vãos envidraçados exteriores;
- ❖ Perdas associadas à renovação do ar;
- ❖ Ganhos Internos;
- ❖ Ganhos pelos vãos envidraçados exteriores.

Com a aplicação da metodologia de cálculo indicada no RCCTE, para a avaliação de todo o conjunto de perdas e ganhos de calor indicados, constata-se que os elementos da envolvente exterior e interior são os responsáveis pela maior quantidade de perdas de calor do edifício (Anexo III).



Refira-se que a determinação das perdas pela envolvente interior requer a consulta da Tabela IV.1 do Decreto-Lei nº80/2006 para obtenção de um coeficiente que, por sua vez, visa caracterizar o respectivo local não aquecido adjacente. Este coeficiente varia entre 0 e 1, conforme o espaço não útil seja considerado interior ou exterior, respectivamente.

Outra fonte de perda de calor que contribui para o comportamento térmico deficiente do edifício é a que ocorre pelos vãos envidraçados exteriores. A existência de vidros simples em vez de duplos agrava as perdas que daí advêm. Tal facto aponta para, uma possível alteração dos mesmos quando forem equacionadas as medidas de melhoria do comportamento térmico do edifício.

Do ponto de vista dos ganhos de calor, considera-se que o edifício é influenciado pelo seguinte conjunto de aspectos:

#### Ganhos solares:

- ❖ Dos vãos envidraçados e de sua orientação;
- ❖ Da radiação incidente nos envidraçados;
- ❖ Da duração da estação de aquecimento;
- ❖ Dos factores de obstrução (sombreamentos).

#### Ganhos internos:

- ❖ Da funcionalidade do edifício;
- ❖ Da duração da estação de aquecimento;
- ❖ Da área útil do edifício.

Um outro aspecto, também ele muito importante, a considerar neste estudo corresponde à sua inércia térmica.

As necessidades de aquecimento são obtidas através da multiplicação das perdas térmicas totais pelos graus-dias no local e por 0,024, subtraindo-se a este valor os ganhos totais úteis. Dividindo este valor pela área útil do pavimento obtém-se a necessidade de aquecimento por

metro quadrado. Por sua vez, as necessidades de aquecimento máximas exigidas pelo RCCTE dependem unicamente do factor de forma<sup>1</sup> e dos graus-dias do local.

Tal como se poderá verificar nas folhas de cálculo apresentadas no Anexo III, o edifício em estudo revela necessidade de aquecimento superior à máxima admitida pela regulamentação térmica, devendo, portanto, serem tomadas medidas a fim de atenuar as suas perdas e contrariar este facto.

Na estação de arrefecimento (Verão), o comportamento térmico do edifício é determinado de forma diferente da estação de aquecimento (Inverno).

No período de arrefecimento são contabilizados os ganhos pelos elementos da envolvente opaca que, por sua vez, resultam dos efeitos combinados da temperatura do ar exterior e da radiação solar incidente

No Verão são também tidos em conta os ganhos solares, considerando-se, para efeitos de cálculo pelo RCCTE, que as portadas de madeira interiores estarão activas a 70%.

As necessidades máximas de energia dispendida para arrefecimento, admitida pelo RCCTE, para os edifícios, encontram-se indicadas na alínea 2 do Artigo 15.º do mesmo [1].

Há aspectos que contribuem de forma significativa para a determinação do desempenho energético do edifício. No Quadro 3.1 encontram-se indicados esses aspectos, separando aqueles que contribuem de forma positiva e negativa:

Aspectos Positivos	Aspectos Negativos
Área dos envidraçados inferiores a 15% da área útil de pavimento	Baixa resistência térmica dos elementos da envolvente
Protecções solares dos envidraçados	Presença de vidros simples
Inércia forte	
Factor de forma baixo	

Quadro 3.1 – Aspectos positivos e negativos do ponto de vista térmico do edifício

O primeiro passo a ser tomado para a melhoria das condições ambientais interiores consiste na introdução de pequenas modificações por forma a não alterar as soluções construtivas da

---

<sup>1</sup> O factor de forma é o quociente entre o somatório das áreas da envolvente exterior e interior do edifício ou fracção autónoma com exigências térmicas e o respectivo volume interior correspondente [1].

envolvente opaca, que, neste caso em estudo, implicariam, por razões que serão descritas posteriormente, uma redução do espaço útil interior.

No Quadro 3.2 são indicadas algumas das possíveis modificações bem como os respectivos impactos energéticos:

	<b>Nic</b> (KWh/m <sup>2</sup> .ano)	<b>Ni</b> (KWh/m <sup>2</sup> .ano)	<b>Nvc</b> (KWh/m <sup>2</sup> .ano)	<b>Nv</b> (KWh/m <sup>2</sup> .ano)
<b>Correcção 1</b> (vidros duplos com alta permeabilidade ao ar das caixilharias)	<b>68,36</b>	<b>51,51</b>	<b>29,42</b>	<b>32</b>
<b>Correcção 2</b> (vidros duplos com baixa permeabilidade ao ar das caixilharias)	<b>64,03</b>	<b>51,51</b>	<b>30,29</b>	<b>32</b>
<b>Correcção 3</b> (Vidros duplos, com alta permeabilidade ao ar das caixilharias, mas com isolamento térmico pelo interior nos elementos da envolvente)	<b>31,55</b>	<b>51,51</b>	<b>26,88</b>	<b>32</b>

Quadro 3.2 – Necessidades energéticas obtidas com aplicação do RCCTE

Da análise do Quadro 3.2, verifica-se que nenhuma das soluções propostas sob a forma de correcção 1 e correcção 2 são suficientes para que o edifício satisfaça as necessidades de energia máximas estabelecidas pelo RCCTE. Será assim necessário melhorar do ponto de vista térmico os elementos da envolvente opaca, para que o edifício em estudo cumpra o exigido pela regulamentação em vigor.

Dado o edifício em análise se encontrar numa zona emblemática de Lisboa, a preservação da fachada, do ponto de vista arquitectónico, é indiscutível, pelo que se encontra excluída qualquer intervenção nesta.

No entanto, dado os valores indicados no Quadro 3.2 mostrarem que, para satisfação dos requisitos mínimos preconizados pelo RCCTE, a intervenção terá de ir além da simples alteração dos vãos envidraçados, a utilização de isolamento térmico nos elementos da envolvente parece ser a solução mais viável para o edifício em estudo.

Numa primeira análise, baseada no RCCTE, destacam-se as seguintes considerações:

- O edifício não cumpre todos os requisitos impostos no RCCTE. O valor das necessidades energéticas para aquecimento é aproximadamente 43% superior ao valor máximo admissível pelo regulamento, para efeitos de licenciamento dos edifícios novos.
- No período de arrefecimento o valor das necessidades energéticas do edifício corresponde apenas a 88% do valor máximo admissível para efeitos de licenciamento de edifícios novos. Este facto deve-se sobretudo ao grande sombreamento proporcionado pela edificação que o rodeia, à sua grande inércia térmica e à existência de portadas de madeira opacas, activas a 70%, durante esse período.

### **3.2.3 - Descrição do Energy Plus**

O *Energy Plus* é um programa informático que objectiva auxiliar o estudo e análise de edifícios do ponto de vista térmico. O EnergyPlus foi concebido pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos, a partir de programas já existentes, o Blast e o DOE-2, e está escrito em linguagem Fortran 90. Neste trabalho será utilizada a versão 3.0 (Novembro de 2008).

A estrutura do programa é observável na Figura 3.2, sendo ela composta por três componentes básicos: um Controlador da Simulação, um Módulo de Simulação do Balanço de Calor e Massa e um Módulo de Simulação dos Sistemas da Edificação. O Controlador da Simulação coordena os Módulos de Simulação nas suas acções individuais.

O programa faz a simulação do balanço térmico e de massa de uma determinada zona de um edifício. Poderão ser introduzidos, na zona a analisar, os vários sistemas de climatização nela existentes, de modo a se obterem os consumos associados às temperaturas interiores pretendidas.

No entanto, para que o programa consiga simular uma arquitectura é necessário fornecer os dados relativos à sua geometria e aos materiais constituintes, entre outros, de forma a caracterizar, do ponto de vista das soluções construtivas, o edifício a analisar.

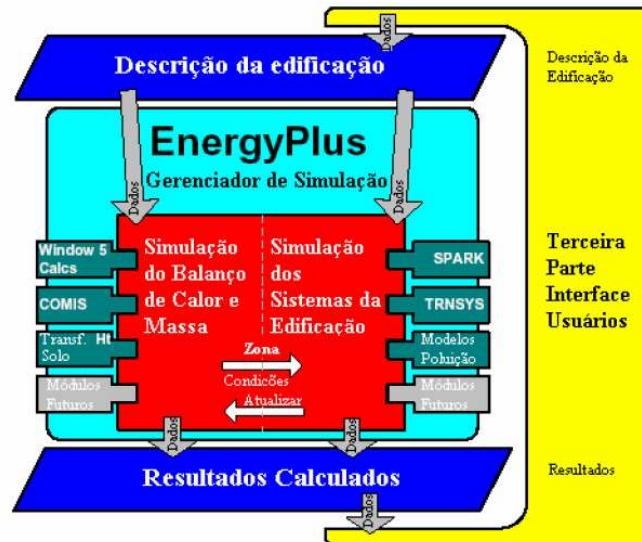


Figura 3.2 – Diagrama de funcionamento do *Energy Plus* [10]

Uma vantagem do *Energy Plus*, prende-se com o facto de permitir simulações por intervalos de tempo inferiores a uma hora, o que possibilita o conhecimento do comportamento térmico do edifício ao longo de um dia e não apenas ao longo dos diversos meses. O programa permite ainda efectuar hiperligações com outros ambientes de simulação populares e obter relatórios padrão reajustáveis pelo utilizador.

O *Energy Plus* simula a carga térmica de uma edificação com base nas descrições e parâmetros previamente definidos pelo usuário. Assim, o programa calcula a quantidade de energia necessária para que a temperatura do ar ambiente interior se mantenha dentro dos limites aceitáveis.

O *Energy Plus* utiliza a seguinte equação (5) para determinação do fluxo de calor que atravessa um elemento opaco:

$$q''_{ko}(t) = \sum_{j=0}^{\infty} X_j T_{o,t-j\delta} - \sum_{j=0}^{\infty} Y_j T_{i,t-j\delta} \quad (5)$$

em que:

$q''$  - o fluxo de calor

T – a temperatura

i – o elemento interno da construção

o – o elemento externo da construção

t – iteração actual

X e Y – factores de resposta<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Os factores de resposta térmica dependem apenas das propriedades térmicas dos materiais.

Deste modo, verifica-se que o fluxo de calor que atravessa um determinado elemento opaco depende das temperaturas exterior e interior, da radiação solar incidente e das propriedades térmicas dos materiais constituintes do elemento.

Para o cálculo das temperaturas, o *Energy Plus* utiliza a seguinte equação (6):

$$T_z^t = \frac{\sum_{i=1}^{N_{sl}} \dot{Q}_i^t + \dot{m}_{sys} C_p T_{sup\ ply}^t + \left( C_z \frac{T_z}{\delta t} + \sum_{i=1}^{N_{surface}} h_i A_i T_{si} + \sum_{i=1}^{N_{zones}} \dot{m}_i C_p T_{zi} + \dot{m}_{inf}^i C_p T_{\infty} \right)^{t-\delta t}}{\frac{C_z}{\delta t} + \left( \sum_{i=1}^{N_{surface}} h_i A_i + \sum_{i=1}^{N_{zones}} \dot{m}_i C_p + \dot{m}_{inf} C_p + \dot{m}_{sys} C_p \right)} \quad (6)$$

em que:

$\dot{Q}$  - o fluxo de calor

$h$  – o coeficiente de convecção de troca de calor

$A$  – a área da parede

$T$  – a temperatura

$\dot{m}$  – o fluxo de massa

$C$  – o calor específico da parede

Na elaboração destes cálculos o *Energy Plus* utiliza o conceito Zona. Define-se Zona um conjunto de espaços que se encontram submetidos ao mesmo controlo térmico. As diferentes zonas de uma determinada construção podem interagir entre si, através de fluxos de calor nas superfícies adjacentes.

O *Energy Plus* possui um editor de texto, em formato IDF (Input Date File), onde o usuário pode colocar toda informação necessária para uma boa caracterização do edifício que pretende analisar.

Outra das ferramentas de uso constante para quem modele o edifício no próprio programa é o EP-Launch. A sua utilização é de extrema importância, pois a modelação da geometria do edifício encontra-se bastante susceptível a erros, por isso, aquando da sua elaboração, é aconselhável uma verificação frequente da existência de possíveis erros. A verificação da existência de erros aquando da sua modelação é conseguida por visualização através de um

ficheiro CAD. O EP-Launch além de ter a funcionalidade de detenção de erros, é onde o utilizador insere os ficheiros climáticos e executa as simulações previamente definidas no IDFEditor.

Aquando da elaboração da geometria do edifício, é possível definir as várias zonas térmicas que se pretendem implementar/simular. A definição das zonas térmicas pertencentes ao edifício é feita consoante o uso de cada espaço e o sistema de climatização existente no respectivo local.

Concluída a simulação, o programa fornece um ficheiro que descreve os eventuais erros detectados pelo software, agrupando-os em três níveis, consoante a gravidade.

A detecção de um erro do tipo “Warning” não compromete a simulação, sendo este frequentemente associado aos erros menos graves. Um erro do tipo “Severe” sendo mais grave e potencialmente comprometedor em termos da qualidade dos resultados, exige intervenção ao nível de ser corrigido. Já um erro do tipo “Fatal” resulta em virtude da associação de diversos erros do tipo “Warning” e “Severe” que, conseqüentemente, impede que a simulação se suceda. Assim, aquando da obtenção de um erro deste tipo, a simulação é interrompida.

Os resultados fornecidos pelo software podem ser convertidos em gráficos de forma a permitir ao utilizador uma melhor visualização dos mesmos. Deste modo justifica-se a apresentação dos resultados deste trabalho em gráficos, com uma ligeira descrição daquilo que se pode observar nos mesmos.

Na Figura 3.3 apresenta-se os dados de *Input* e *Ouput* necessários na análise de comportamento térmico de um edifício:

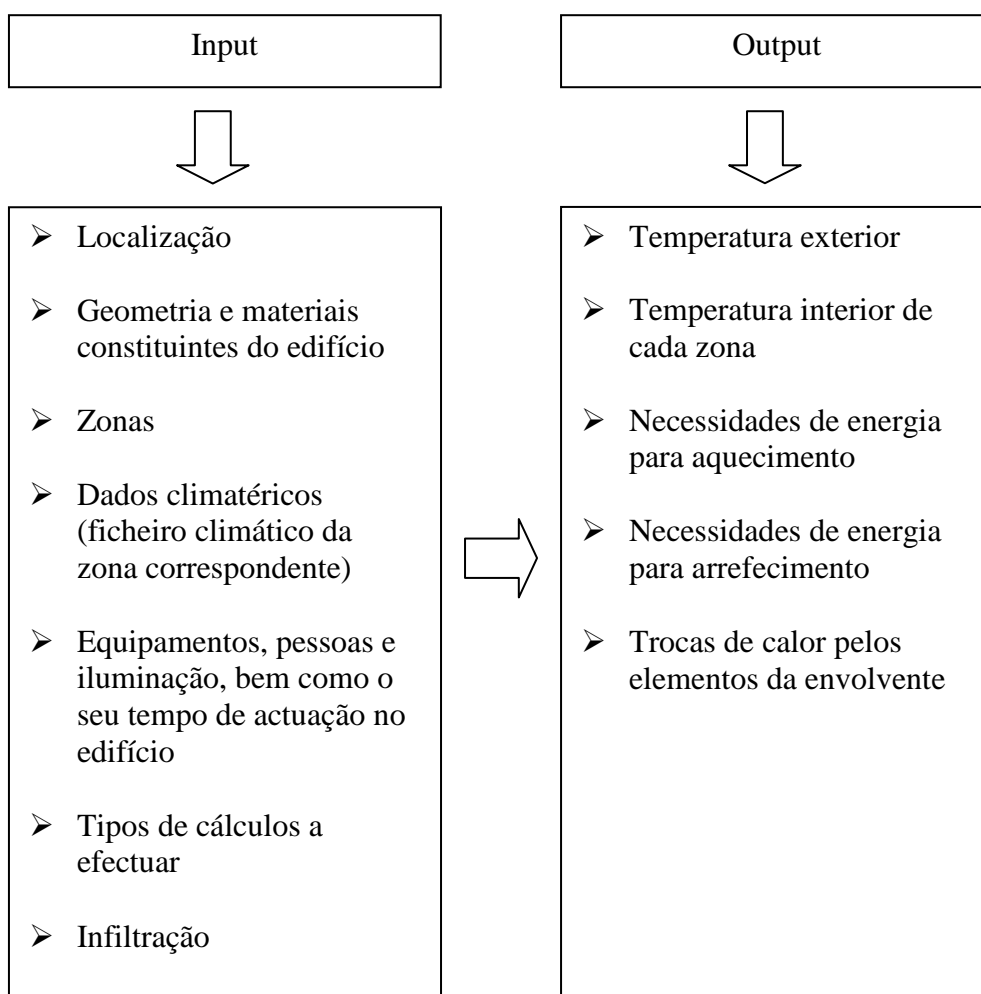


Figura 3.3 – Diagrama dos dados de entrada e saída do *Energy Plus* [10]

### 3.3 - As vantagens do uso do Energy Plus enquanto ferramenta de análise dinâmica

O estudo do comportamento térmico dos edifícios pode ser conseguido com base em análises estática (RCCTE), dinâmica (*Energy Plus*) ou com ambas em simultâneo.

O objectivo desta secção reside em destacar as principais diferenças que os dois métodos apresentam entre si do ponto de vista das respectivas vantagens e inconvenientes associados a cada.

Tal como já foi referido, a introdução do RCCTE obrigou os projectistas a identificarem medidas concretas no sentido de assegurar as exigências de conforto térmico definidas, sendo este processo baseado numa análise estática ao edificado a construir. Este regulamento, elaborado de modo a poder servir de método de análise para a generalidade dos edifícios,



parte de um conjunto de pressupostos que, na realidade, poderão não corresponder à situação de alguns edifícios existentes. No entanto, embora pouco rigorosa, a análise pelo regulamento dá uma boa estimativa das necessidades energéticas apresentadas pelos edifícios.

Contrariamente à análise estática, a dinâmica permite ao usuário elaborar simulações de grande complexidade com base num elevado número de variáveis, obtendo-se resultados mais próximos da realidade.

A análise dinâmica poderá ser feita com recurso a programas, tais como o BLAST, DOE2.1.E, TRACE, ECOTEC, Comis e o *Energy Plus*, sendo este último aquele que fora utilizado para a elaboração do estudo ao edifício a abordar neste trabalho.

Descrevem-se de seguida as vantagens da ferramenta *Energy Plus* comparativamente com a regulamentação actual (RCCTE).

### **3.3.1 – Ventilação**

A ventilação natural desempenha um papel muito importante no balanço energético dos edifícios, podendo contribuir decisivamente para a melhoria das condições ambientais no seu interior, no período de Verão, quando utilizada para a redução das necessidades de arrefecimento. A ventilação natural é muitas vezes feita recorrendo à abertura de janelas nos vãos em contacto com o exterior, melhorando desde modo, não só a qualidade interna do ar como também a temperatura interior nos períodos de Verão. Todavia, a ventilação também é responsável por uma percentagem significativa de perdas de calor na estação de Inverno, pelo que, facilmente se compreende o estabelecimento pelo regulamento de um valor mínimo da taxa de renovação horária, pois só assim se conseguirão garantir condições de salubridade e de conforto, com um mínimo dispêndio de energia.

Relativamente ao método de análise utilizado pelo RCCTE, é adoptado um valor constante da taxa de renovação horária, facto que impede a análise pontual das situações em que a diminuição ou o aumento da ventilação podem revelar-se benéfica. Como o *Energy Plus* não apresenta esse inconveniente, o estudo do comportamento térmico do edifício pode ser efectuado com maior detalhe, tornando variável a respectiva taxa de infiltração do ar.

### **3.3.2 - Ganhos Internos**

Os ganhos internos que ocorrem dentro de uma determinada zona são resultado da ocupação humana, iluminação e dos equipamentos existentes no seu interior. Como estes parâmetros variam muito de caso para caso, é pouco conveniente que na prática se analise em pormenor a situação real, sendo mais simples a abordagem do problema partindo de um pressuposto baseado naquilo que é espectável. O RCCTE assume para estes efeitos um valor médio em Watt por metro quadrado consoante a funcionalidade do edifício.

Uma análise dinâmica permitirá sempre a estimativa mais precisa dos ganhos internos associados ao conjunto de parâmetros acima referidos, mas para tal é necessário conhecer a energia consumida em iluminação, equipamentos e nas actividades que as pessoas exercem no seu interior. É de referir que os ganhos internos são benéficos durante a estação de Inverno e prejudiciais durante a estação de Verão, na medida em que contribuem em permanência para o aumento da temperatura interior do edifício.

### **3.3.3 - Ganhos Solares**

A energia solar incidente num edifício é benéfica na estação de Inverno, quando aproveitada para efeitos de aumento da temperatura do ambiente interior. Contudo, na estação de Verão, a energia solar pode estar na origem do aquecimento excessivo do ambiente interior quando o edifício, em virtude da sua localização, orientação, características geométricas e qualidade térmica da envolvente proporciona ganhos solares significativos.

As diferenças principais entre o RCCTE e o *Energy Plus* prendem-se com o facto de no primeiro caso serem assumidos valores genéricos relativamente à radiação solar incidente, ao contrário do *Energy Plus* que analisa o comportamento térmico do edifício com a variação da intensidade e da incidência da radiação solar. Esta diferença de abordagem pode ser determinante quando se procura analisar a eficácia dos dispositivos de sombreamento móveis que devem ser utilizados em alturas muito pontuais.

### **3.3.4 - Trocas de calor pelas Envolventes**

As trocas de calor pelas envolventes exterior e interior surgem sempre que se verifica uma diferença de temperatura entre os ambientes que elas separam. No que respeita às trocas pela

envolvente interior<sup>1</sup> o RCCTE apenas as considera no período de Inverno, ou seja, assume-as nulas nos restantes períodos. Na estação de Inverno, as trocas pelas envoltentes interiores são assumidas como fracções dos valores equivalentes registados pela envolvente exterior, sendo para este efeito atribuído a cada local não aquecido um parâmetro adimensional calculado em função de uma relação geométrica de áreas. Como este tipo de abordagem não considera a qualidade térmica dos elementos da envolvente do local não aquecido, é fácil perceber as vantagens associadas a uma análise mais profunda com recurso ao *Energy Plus*, que possibilita ao seu utilizador definir condições muito próximas das reais.

### 3.4 - Metodologia utilizada para definição do problema em estudo

Nesta secção são descritos os diversos grupos e campos utilizados para a elaboração deste trabalho. Os campos usados permitem a inserção dos dados essenciais para a elaboração de uma simulação rigorosa e precisa, o que, conseqüentemente, resultará em resultados mais próximos daqueles que presumivelmente corresponderão à realidade.

No entanto, há que realçar a existência de outros grupos no programa, os quais não farão parte do âmbito deste trabalho. A grande potencialidade apresentada pelo *Energy Plus* é de possibilitar ao utilizador efectuar estudos mais abrangentes sem necessidade de recorrer a outros softwares.

#### 3.4.1 - Simulation Parameters

Neste grupo o utilizador introduz os dados principais necessários para a definição do problema em estudo. Exemplos dos parâmetros a inserir pelo usuário são a versão do software (versão 3.0), o factor multiplicativo do volume de ar nas zonas (igual a 1.0), a variância da posição solar, os algoritmos de transferência de calor pela envolvente e os algoritmos de convecção interior e exterior nas diversas superfícies que estruturam o edifício.

O algoritmo de transferência de calor considerado para a envolvente do edifício foi o *ConductionTransferFunction*, que considera apenas o calor sensível. A sua adopção deve-se ao facto de se querer considerar, para efeitos de simulação, apenas a ocorrência de fenómenos de transmissão de calor por condução, desprezando o armazenado de humidade nos elementos

---

<sup>1</sup> A envolvente interior define a fronteira entre um espaço útil interior e outros espaços interiores não climatizados, tais como garagens e armazéns.

construtivos. Neste grupo há que também salientar o preenchimento de dados referentes ao sombreamento do edifício e à utilidade que o *Timestep* apresenta numa análise do comportamento diário do edificado.

No que respeita ao sombreamento do edifício, uma vez ser desnecessário considerar a variação diária de sombras, apenas se considerou que as mudanças significativas da posição do solar ocorreriam de 20 em 20 dias. No campo *Timestep* o utilizador consegue definir um intervalo de tempo de simulação inferior a uma hora, permitindo deste modo obter resultados bastante pormenorizados ao longo do dia. No entanto, o software apenas permite valores de timestep que sejam divisíveis por 60, sendo a opção 1 o equivalente ao *Hourly* no campo *Output Reporting*.

Ainda neste grupo, há que também destacar a necessidade de preenchimento do campo *Building*. Neste campo é introduzida a verdadeira orientação do edifício relativamente ao norte, o tipo de zona onde o edifício se encontra inserido (cidade), as tolerâncias de convergência quer de temperaturas quer de cargas, a distribuição solar e o número máximo de dias de teste para a verificação das ditas convergências.

Embora a distribuição solar pelo *FullInteriorAndExterior*<sup>1</sup> possa caracterizar melhor a realidade, por razões de geometria teve-se de optar pelo *FullExterior*<sup>2</sup>. O *Energy Plus* apenas consegue determinar a distribuição através do *FullInteriorAndExterior* quando a geometria do edifício é convexa, o que não se verifica no edifício em estudo.

Os dias de teste considerados para a verificação das convergências foram 25. No entanto, aquando da atribuição deste valor, há que ter atenção se, após a simulação, não haverá no ficheiro “ERR” qualquer informação que indicie a necessidade de elevar esse número.

---

<sup>1</sup> Com a opção *FullInteriorAndExterior* o programa calcula a quantidade de radiação solar absorvida por cada superfície, incluindo pisos, paredes e janelas.

<sup>2</sup> Com a opção *FullExterior* toda a radiação transmitida que entra na zona é absorvida pelo piso, de acordo com a sua absorptância solar.

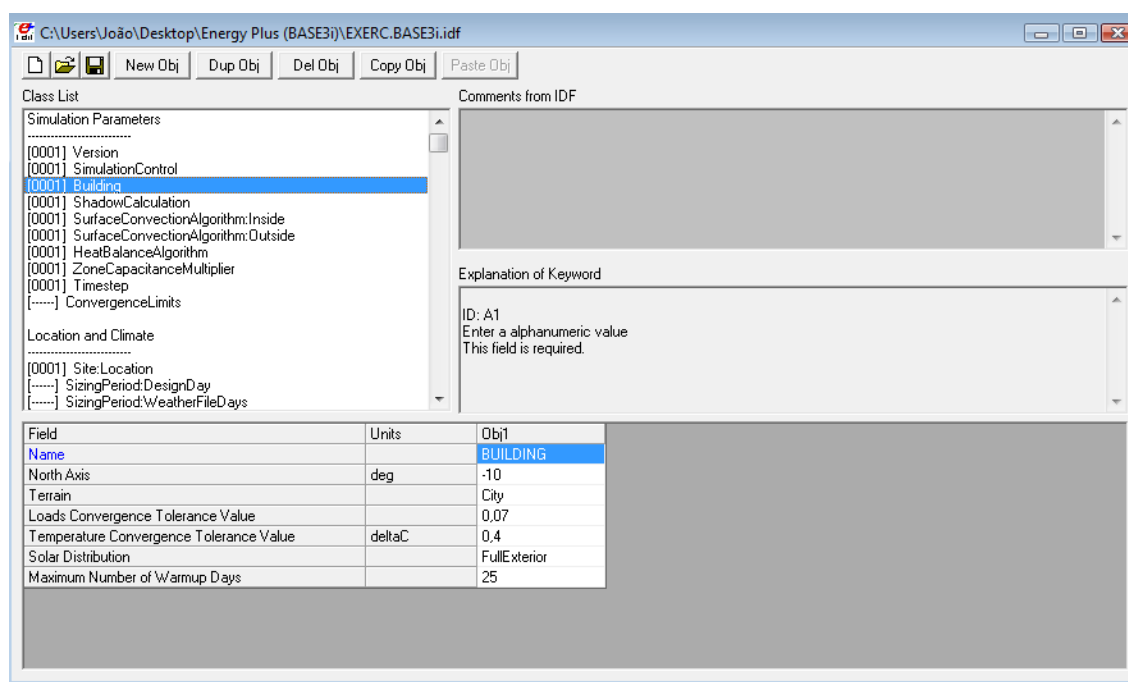


Figura 3.4 – Arquivo de entrada do *Energy Plus*

### 3.4.2 - Location and Climate

Neste grupo são introduzidos dados referentes à localização do edifício, tais como a latitude, longitude, elevação e o fuso horário relativamente ao GMT. No entanto, caso o usuário opte pela utilização dos ficheiros climáticos do *Energy Plus*, o seu preenchimento é desnecessário, uma vez que o software sobrepõe os dados dos ficheiros climáticos aos indicados pelo utilizador.

Uma vez que o edificado se encontra em contacto com o terreno, há que conhecer a temperatura desse terreno. Para tal recorreu-se ao programa *Slab* para a determinação da temperatura média do terreno nos diferentes meses do ano.

Ainda neste grupo, o utilizador define os períodos de simulação pretendidos, bem como o número de anos em que quer que os mesmos sejam realizados. Para a realização deste trabalho definiram-se dois períodos distintos, correspondente ao Verão e ao Inverno (com recurso ao preenchimento do campo *RunPeriod*).

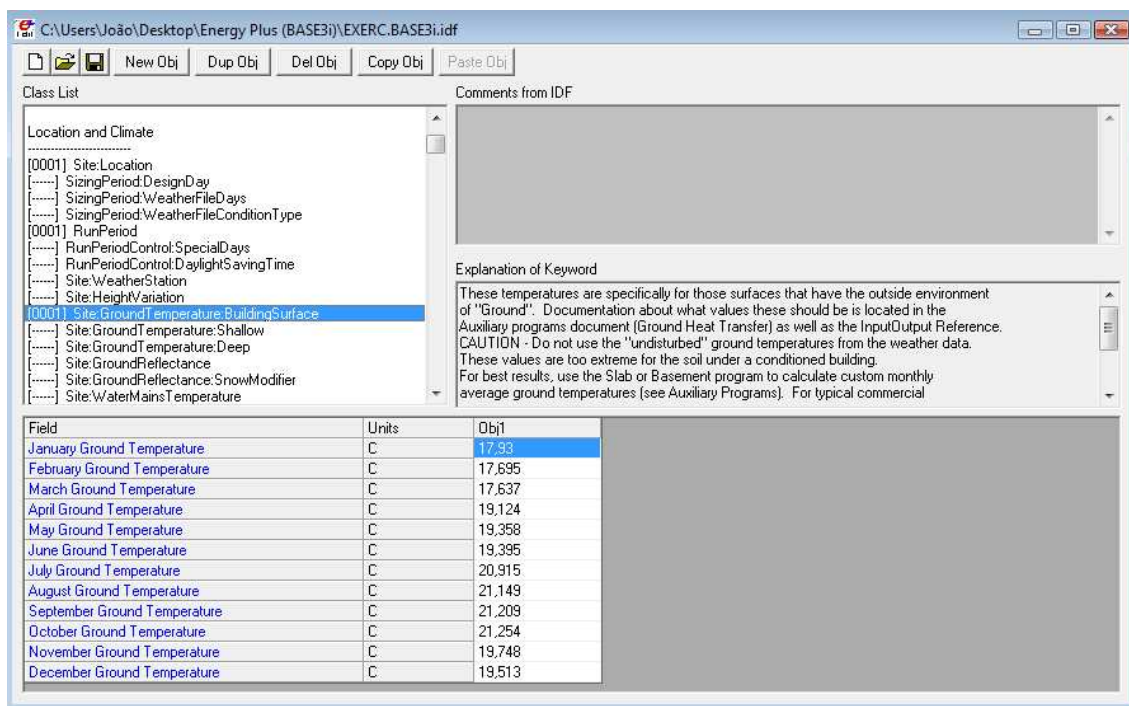


Figura 3.5 – Definição da temperatura do terreno no *Energy Plus*

### 3.4.3 - Schedules

A utilização das *Schedules* visa definir o grau de utilização e operação do edificado bem como dos seus equipamentos, tais como a iluminação e as temperaturas de controlo nos diversos compartimentos. Este grupo estabelece ligações com campos de outros grupos do programa, de modo a detalhar e criar condições que se aproximam da realidade do edifício alvo.

No estudo realizado, os campos que apresentam uma ligação directa ao *Schedule* são:

- *Shading:Building:Detailed*
- *Shading:Zone:Detailed*
- *SurfaceProperty:OtherSideCoefficients*
- *ZoneInfiltration*
- *ZoneControl:Thermostat*
- *ThermostatSetpoint:SingleHeating*
- *ThermostatSetpoint:SingleCooling*
- *ThermostatSetpoint:DualSetpoint*

Neste trabalho utilizou-se o campo *Schedule:Compact* por se adequar à situação e por permitir que todos os *Schedules* sejam acedidos num único comando, o que torna mais fácil e rápida a

introdução de dados e a posterior consulta dos mesmos. No entanto, para que este campo funcione é necessário estabelecer uma ligação com o campo *ScheduleTypeLimits*. Neste campo estabelece-se os limites mínimos e máximos dos valores existentes no *Schedule:Compact* e indica-se se as mesmas variáveis são discretas ou contínuas.

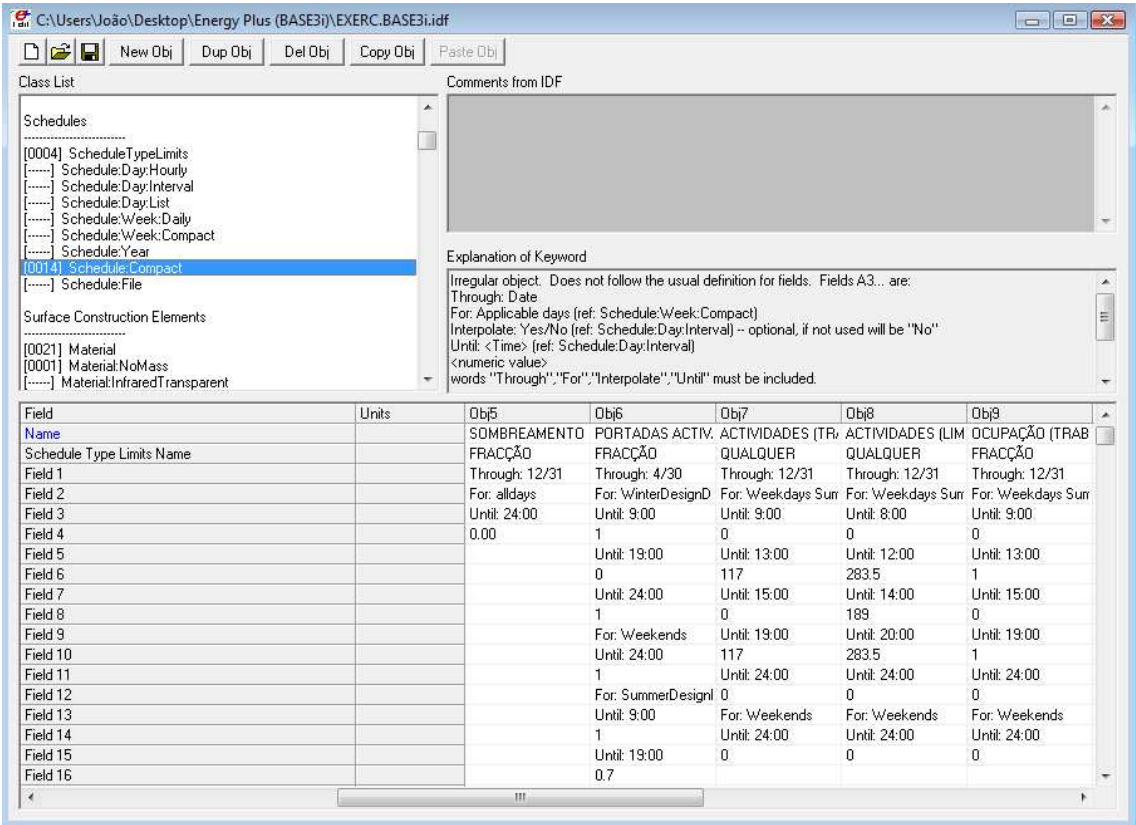


Figura 3.6 – Definição das Schedules no *Energy Plus*

### 3.4.4 - Surface Construction Elements

Neste grupo são introduzidos os materiais e as diversas soluções construtivas existentes em toda a envolvente exterior e interior, tal como indicado nas Figuras 3.7 e 3.8.

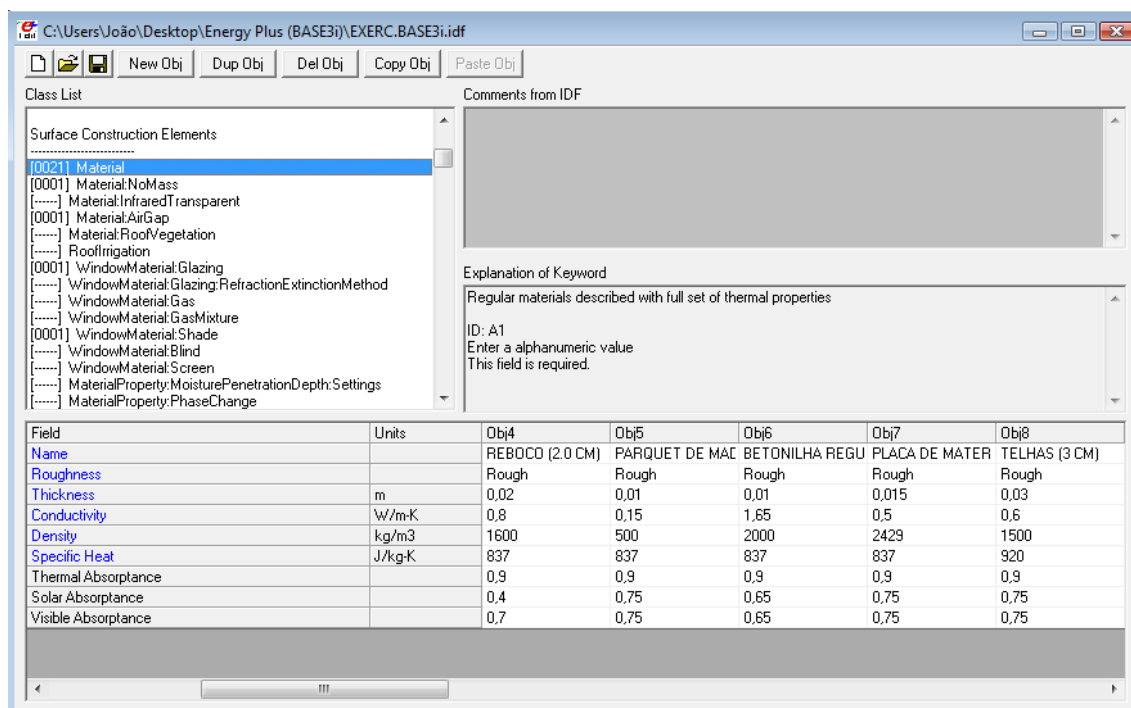


Figura 3.7 – Definição dos materiais no *Energy Plus*

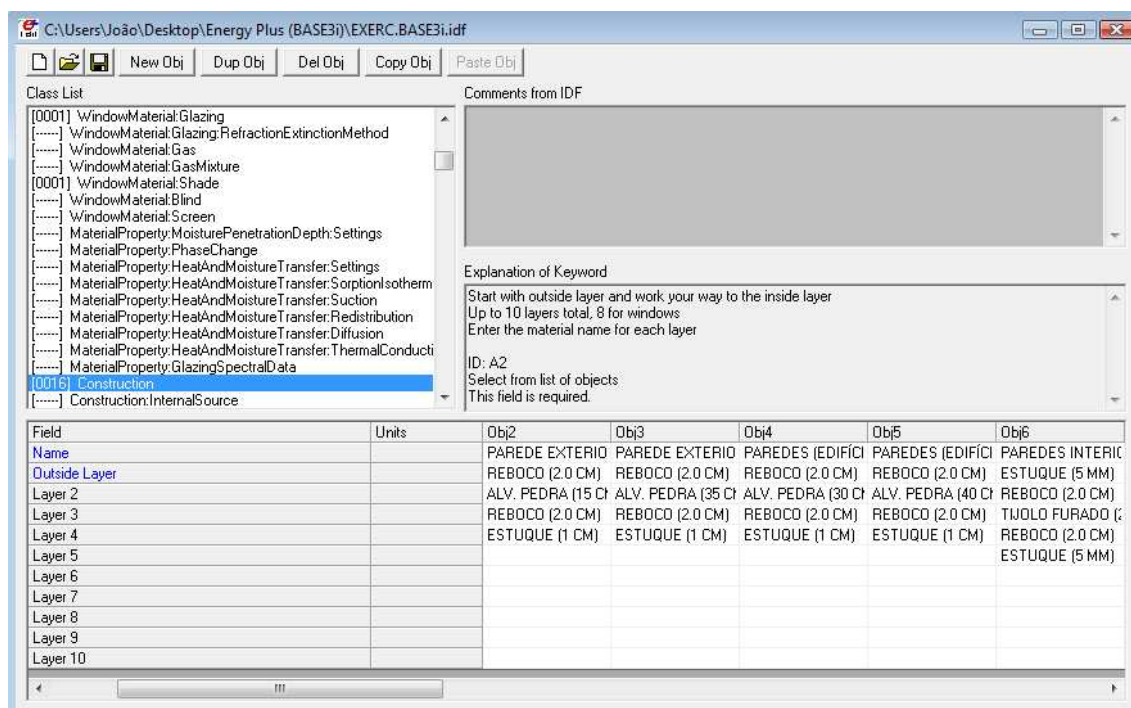


Figura 3.8 – Definição das soluções construtivas no *Energy Plus*

Contudo, há que ter atenção à forma como são disponibilizados os diversos materiais de um dado elemento construtivo, uma vez que terão de ser introduzidos do exterior para o interior.



Para uma boa caracterização dos materiais constituintes foram introduzidos dados referentes à espessura, grau de rugosidade, condutibilidade térmica, densidade, calor específico e as absorções térmica, solar e visível.

No entanto, a caracterização das portas, vidros e ar existente entre os elementos construtivos, não seguem os mesmos passos dos restantes materiais. A definição do ar apenas implica a colocação do valor da sua resistência. Para a definição da porta são necessárias a resistência térmica, o grau de rugosidade e os coeficientes de absorção térmica, solar e visível.

Os dados a introduzir sobre os vidros baseiam-se no seu poder de transmitir, reflectir e emitir a radiação que nele incide, e na sua condutibilidade térmica.

Outra indicação que o utilizador terá de definir está relacionada com a difusão solar da radiação incidente. Se o utilizador optar por *No*, o vidro é assumido como transparente, sem difusão da radiação transmitida. No entanto, caso se opte por *Yes*, o software considera o vidro translúcido, com difusão da radiação incidente. Uma vez que o edifício tem vidros transparentes, a opção tomada foi *No*.

Em virtude de existirem portadas interiores de madeira, foi necessário definir as propriedades das mesmas. Para tal, introduziram-se dados relativos à sua capacidade de reflectir e transmitir a radiação incidente, bem como a espessura e condutibilidade térmica das respectivas portadas.

### **3.4.5 - Thermal Zones and Surfaces**

É neste grupo que o utilizador define a geometria do edifício que pretende analisar.

Para tal, dividiu-se o edifício em 8 zonas distintas:

- Zona 1 – Fracção autónoma (1º Piso)
- Zona 2 – Zona de circulação comum (Escadas)
- Zona 3 – Zona Comercial (Loja - R/C)
- Zona 4 – Fracção autónoma (2º Piso)
- Zona 5 – Fracção autónoma (3º Piso)
- Zona 6 – Fracção autónoma (4º Piso)
- Zona 7 – Fracção autónoma (5º Piso)
- Zona 8 – Fracção autónoma (Sótão - 6º Piso)

O reconhecimento das zonas por parte do software é conseguido através do preenchimento do campo *Zone* e com posterior indicação da mesma aquando da elaboração da geometria do edifício no campo *BuildingSurface:Detailed*.

A elaboração da geometria do edifício exige o estabelecimento de critérios. Dada a geometria ser definida por coordenadas cartesianas, foi necessário estabelecer o primeiro vértice e o sentido de orientação dos restantes. Para tal, neste grupo são dadas as alternativas possíveis. Como é visível na Figura 3.9, considerou-se como primeiro vértice o canto inferior esquerdo. Os vértices seguintes foram determinados a partir do primeiro, seguindo o sentido contrário ao dos ponteiros do relógio.

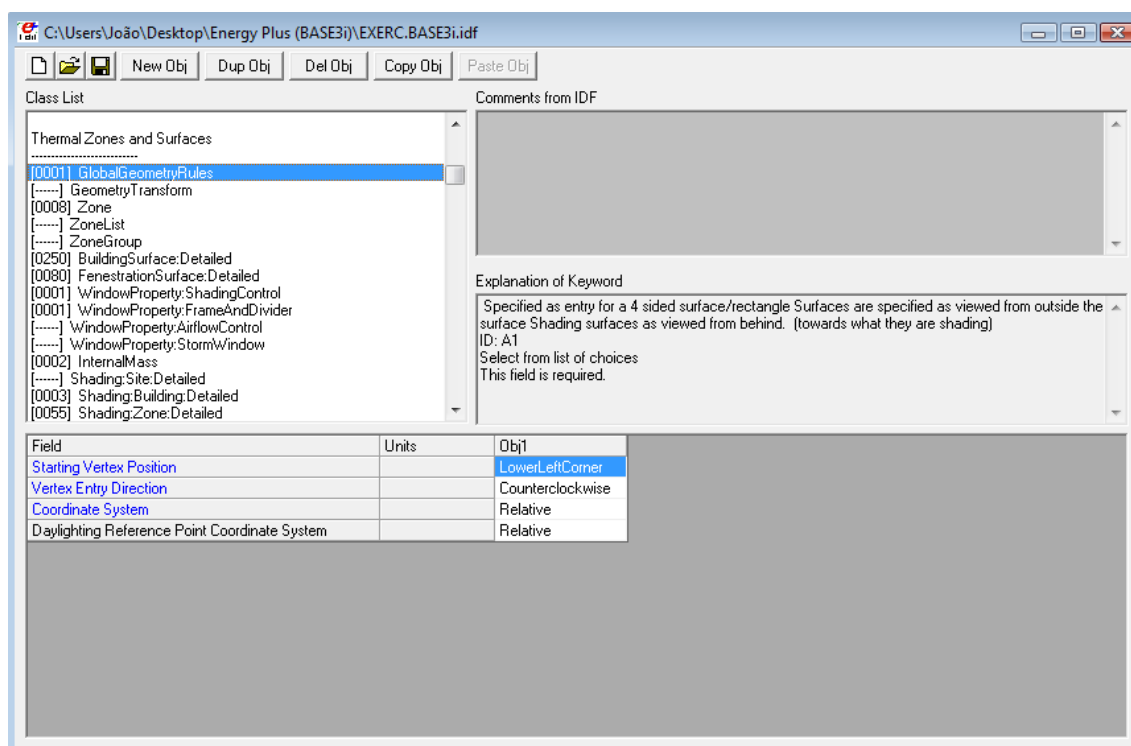


Figura 3.9 – Definição do sentido de orientação para elaboração da geometria do edifício no *Energy Plus*

Contudo, todas estas indicações podem ser interpretadas de maneiras diferentes, dependendo do sentido de orientação do observador. A posição do observador deve ser exterior ao do elemento a construir. A título de exemplo, no caso de um pavimento, o observador estará por baixo deste e no caso de um tecto o observador deverá estar posicionado por cima do mesmo. Para uma melhor caracterização e reconhecimento das diversas superfícies por parte do software, é imprescindível a atribuição de diferentes nomes às superfícies inseridas, a indicação do tipo de superfície tratada (chão, tecto, parede, cobertura), a sua solução

construtiva que, por sua vez, é introduzida no campo *Construction*, a zona a que pertence, as condições adjacentes à parede (terreno, interior, exterior ou outras condições) bem como a sua exposição ao sol e ao vento.

A Figura 3.10 apresenta alguns exemplos de superfícies introduzidas, bem como os aspectos referidos:

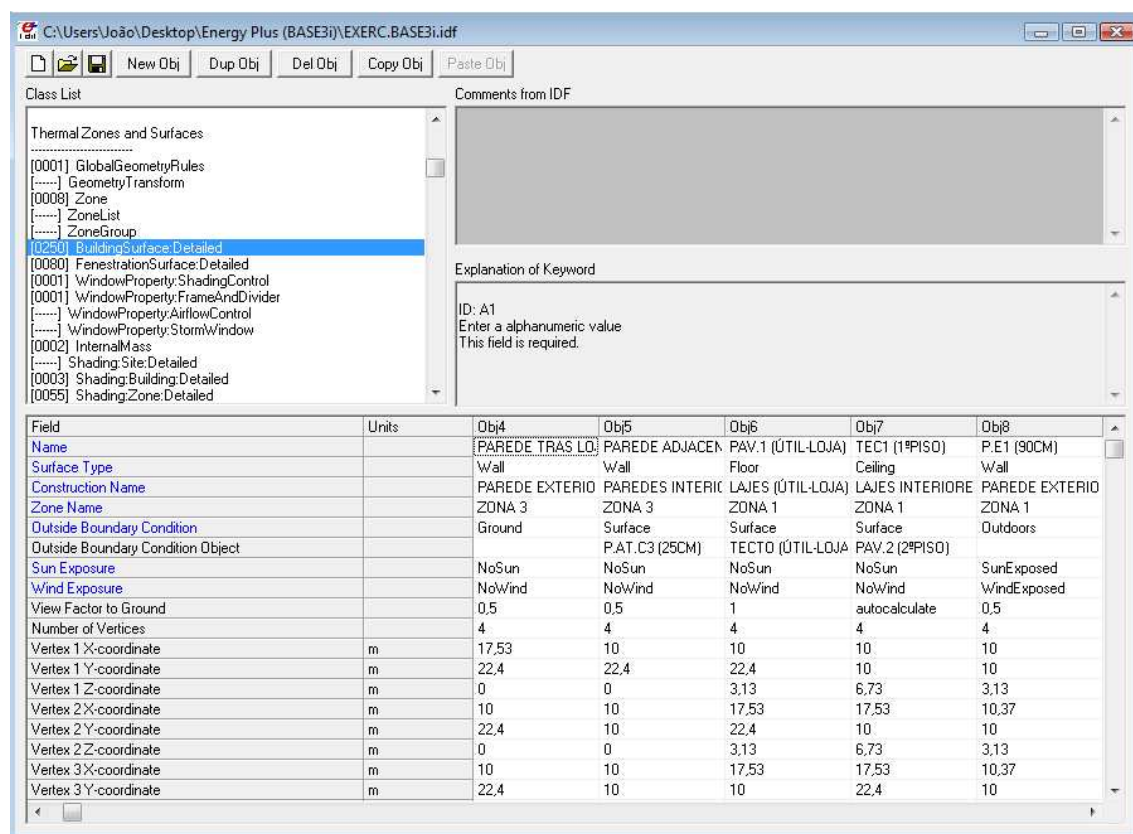


Figura 3.10 – Definição da geometria do edifício no *Energy Plus*

Para a introdução dos vidros e portas existentes no edificado é utilizado o campo *FenestrationSurface:Detailed*. Tal como na elaboração da geometria, a sua inserção é conseguida com o recurso a coordenadas cartesianas, sendo também necessária a indicação, entre outros aspectos, da superfície onde a dita porta/janela se encontra inserida. Deste modo, a ligação entre o presente campo com o campo *BuildingSurface:Detailed* torna-se inevitável.

Neste grupo é ainda colocado o sombreamento proporcionado quer por outros edifícios quer por varandas. Uma vez imóveis, este tipo de sombreamentos, são considerados, no *Schedule*, permanentes durante as 24 horas do dia.

É ainda neste grupo que o utilizador define as propriedades das caixilharias e a actividade das portadas interiores do edifício. Para o controlo do sombreamento causado pelas portadas

recorreu-se a um *Schedule*, de modo a poder relacionar a realidade do edifício com o estabelecido pela regulamentação existente.

Neste grupo definiu-se ainda o sombreamento causado pelas varandas bem como pelos edifícios situados em seu redor.

### 3.4.6 - Advanced Surface Concepts

O recurso a este grupo deveu-se ao facto de se pretender que as trocas de calor existentes com o edifício adjacente correspondam ao definido pelo RCCTE durante o período de Inverno.

Para o conhecimento da temperatura da superfície em contacto com o edifício adjacente, tiveram que se efectuar cálculos que permitissem a obtenção de uma resistência superficial que tornasse as perdas que daí advêm equivalentes a 60% do que ocorreria se o mesmo fosse exterior. Para tal, no campo *BuildingSurface:Detailed* indicou-se para as paredes em contacto com o edifício adjacente, no campo *Outside Boundary Condition*, a opção *OtherSideCoefficients*. Este último campo tem ligação directa com o campo *SurfaceProperty:OtherSideCoefficients*, à qual se define as condições do espaço não útil adjacente.

Deste modo, utilizou-se o seguinte sistema de equações, para a obtenção do valor da resistência superficial referida  $\left(\frac{1}{X}\right)$  (7):

$$\begin{cases} g_1 = U \times A \times GD \times 0,6 \\ g_2 = \frac{1}{\frac{1}{U} + \frac{1}{X}} \times A \times GD \\ g_1 = g_2 \end{cases} \quad (7)$$

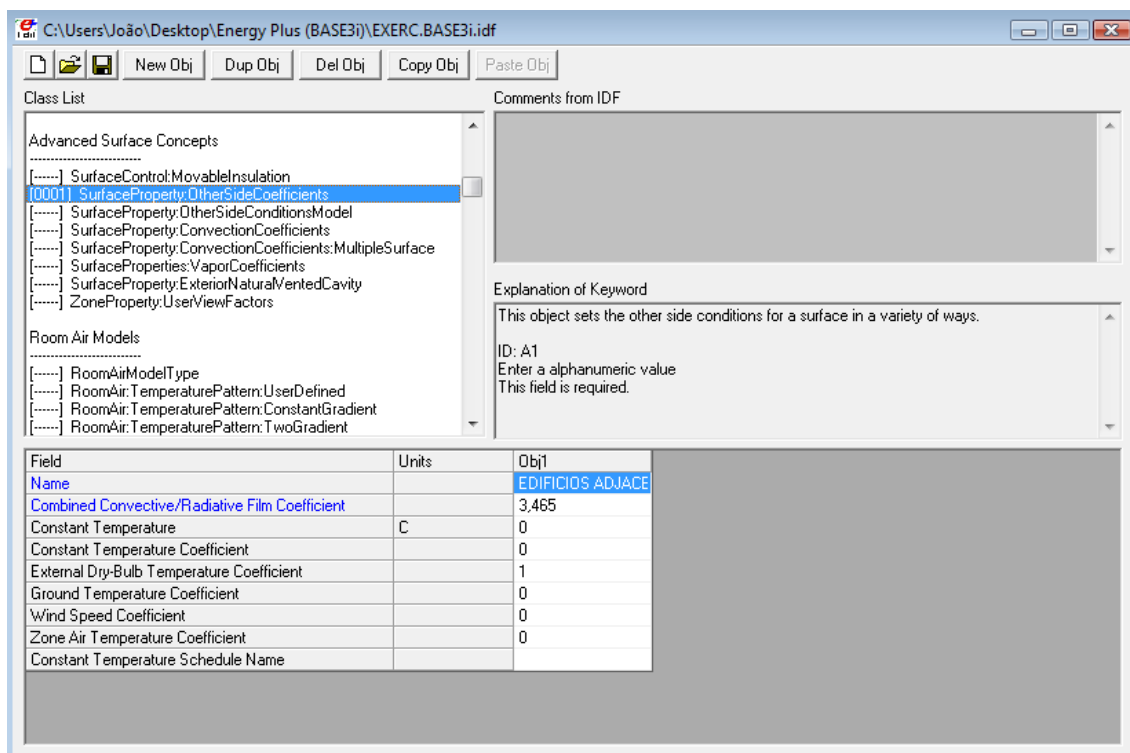


Figura 3.11 – Definição das condições das superfícies exteriores das paredes em contacto com os edifícios adjacentes no *Energy Plus*

### 3.4.7 - Internal Gains

Neste campo, foram inseridos os ganhos internos de cada zona relativos à ocupação humana (trabalhadores), iluminações e equipamentos. Os ganhos proporcionados pela ocupação humana devem-se essencialmente à energia consumida na elaboração das respectivas actividades ao longo do dia. Para tal, foi necessário recorrer a um *Schedule* de forma a indicar as horas em que os trabalhadores se encontram no local de trabalho e a elaborar as suas actividades.

Os ganhos devidos à iluminação e equipamentos necessários para a elaboração das diversas actividades, foram de  $10W / m^2$  e  $15W / m^2$ , respectivamente.

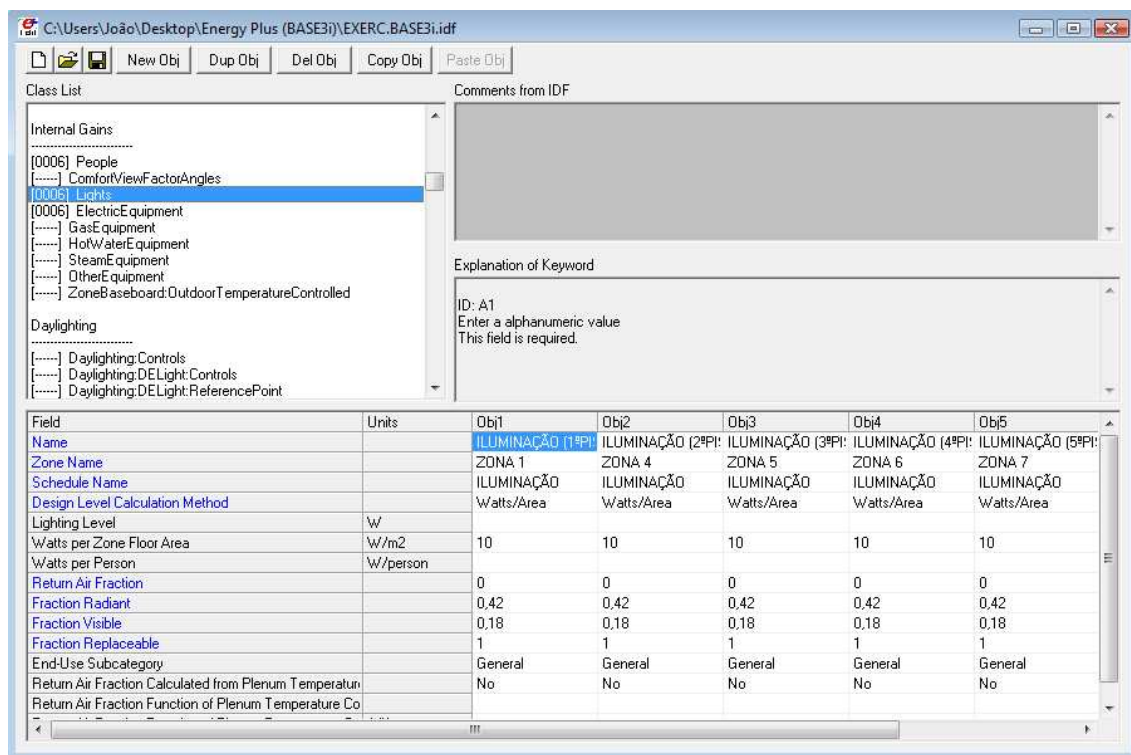


Figura 3.12 – Definição dos ganhos internos no *Energy Plus*

### 3.4.8 - Zone Airflow

Neste grupo foi inserida a quantidade de ar, proveniente do ambiente exterior, que se infiltra directamente no interior de cada zona térmica. Para tal preencheu-se o campo *ZoneInfiltration* e indicou-se a mesma taxa de renovação horária assumida aquando da sua análise pelo RCCTE, ou seja,  $0.9h^{-1}$ . Considerou-se também que a renovação do ar ocorreria em todas as horas ao longo do ano. Em alternativa, o software possibilita ao utilizador inserir a taxa de renovação horária por área de superfície exterior, por área de chão ou pela quantidade que por segundo se infiltra numa determinada zona.

Embora se tenha considerado apenas a infiltração do ar que ocorre no edifício de forma natural, é de salientar a capacidade do software em permitir uma abordagem mais complexa, que poderá ter em consideração a permeabilidade de todos os elementos da envolvente exterior do edifício.

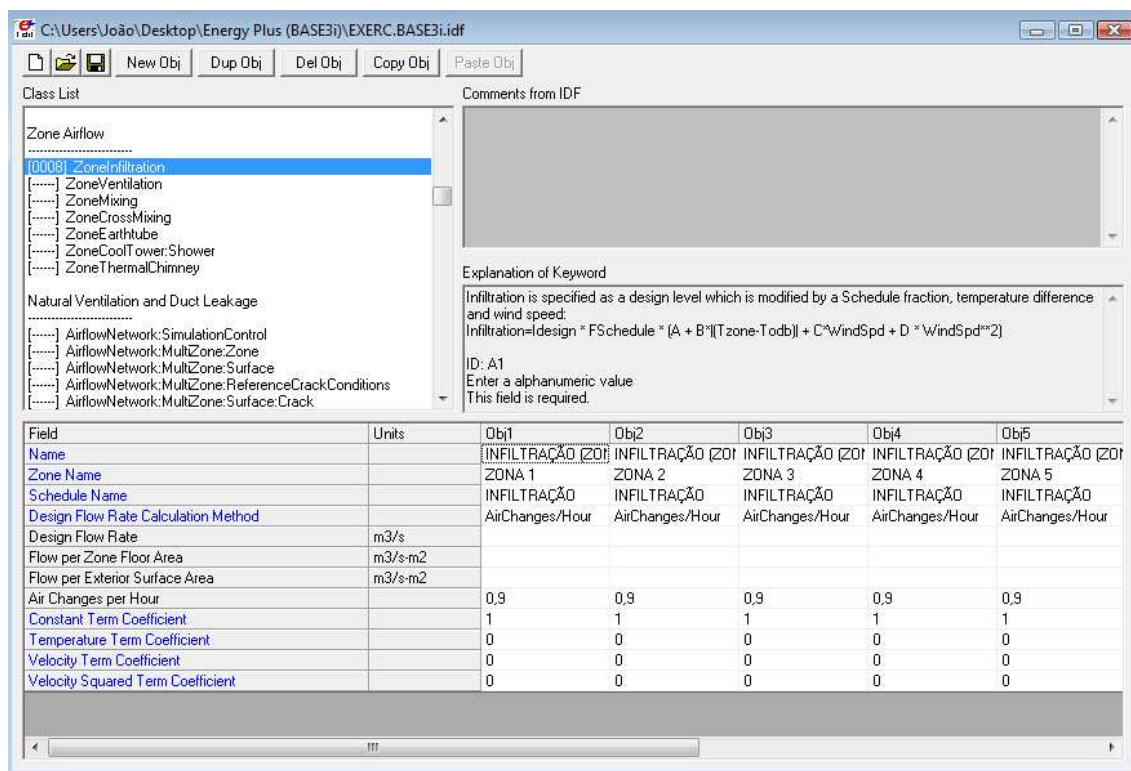


Figura 3.13 – Definição das taxas de renovações horárias no *Energy Plus*

### 3.4.9 - Zone HVAC Controls and Thermostats

Neste grupo foram definidos os valores de temperatura que se pretendem que o edifício assumia ao longo do ano. As temperaturas consideradas para efeitos de análise de comportamento térmico de Inverno e de Verão foram de 20°C e de 25°C, respectivamente.

A manutenção da temperatura nos intervalos de temperatura definidos exige a actuação de equipamentos, os quais serão inseridos nos grupos seguintes, nas diversas zonas em que se pretende esse controlo de temperatura.

A definição dos limites máximos e mínimos das temperaturas é conseguida com recurso ao grupo *Schedules*.

Além do software possibilitar que a temperatura interior se mantenha num dado intervalo, também permite mantê-la numa temperatura constante, por actuação de forma alternada dos equipamentos de aquecimento e arrefecimento.

### 3.4.10 - Zone HVAC Forced Air Units

Neste grupo preencheu-se o campo *ZoneHVAC:IdealLoadsAirSystem* que visa definir alguns parâmetros dos equipamentos utilizados para aquecimento e arrefecimento das zonas. Há que salientar que os equipamentos a inserir em cada zona correspondem apenas a um sistema virtual, isto é, um sistema 100% eficiente, sem ganhos internos, mas que permite manter a temperatura no intervalo pretendido. Este sistema vai portanto adicionar e retirar carga térmica conforme as necessidades do edifício.

Dos parâmetros a definir destaca-se a temperatura e humidade do ar fornecido para o efeitos de aquecimento e/ou arrefecimento.

Uma vez que a renovação do ar se mantém nos  $0.9h^{-1}$ , é importante que se considere *NoOutdoorAir*. Assim, o funcionamento dos equipamentos de climatização não afectará a taxa de renovação horária considerada, sendo a admissão de ar devida unicamente à infiltração.

### 3.4.11 - Zone HVAC Equipment Connections

Este grupo encontra-se directamente ligado com o grupo anterior uma vez ser aqui que o utilizador define os equipamentos fictícios a existir nas diferentes zonas em que se pretende conforto.

No campo *ZoneHVAC:EquipmentList* foram definidos os equipamentos virtuais e estabelecida uma ligação com o grupo *Zone HVAC Force Air Units*, de forma a relaciona-los com as suas propriedades.

No campo *ZoneHVAC:EquipmentConnections* foram definidos os nós de entrada e saída de ar de forma a construir um ciclo na zona-HVAC.

### 3.4.12 - Node-Branch Management

Neste grupo preencheu-se o campo *NodeList* com o objectivo de definir todos os nós a utilizar. A listagem dos nós faculta ao utilizador o seu agrupamento nos relatórios do modo que mais desejar.



### 3.4.13 - Report

Este grupo destina-se a definir os resultados que se pretendem que o *Energy Plus* apresente sob forma de “output”. É de realçar a existência de uma vasta lista de resultados que o software pode fornecer.

A solicitação das variáveis pretendidas é conseguida com recurso ao campo *Output:Variable*, à qual se define a frequência do fornecimento dos valores solicitados. Para comparação com os valores obtidos pelo RCCTE, foram solicitados os dados relativos aos ganhos e perdas por condução que ocorrem pela envolvente opaca, cujas designações são *Zone Opaque Surface Inside Face Conduction Gain Energy* e *Zone Opaque Surface Inside Face Conduction Loss Energy*, respectivamente. Relativamente aos ganhos e perdas que ocorrem pelos vãos envidraçados foram solicitadas as variáveis *Window Heat Gain Energy* e *Window Heat Loss Energy*. No entanto, caso o utilizador pretenda uma obtenção mais detalhadas das trocas de calor que ocorrem nos envidraçados, poderá ser solicitada separadamente as perdas pelo caixilho e vidro.

No que respeita aos ganhos internos que sucedem no interior do edificado, foram solicitadas as variáveis correspondentes aos equipamentos, iluminação e ocupação humano, que correspondem a *Electric Equipment Total Heat Gain*, *Lights Total Heat Gain* e *People Total Heat Gain*, respectivamente.

Foram ainda solicitados os valores resultantes dos ganhos e perdas pela renovação do ar, cujas variáveis designam-se *Zone Infiltration Sensible Heat Gain* e *Zone Infiltration Sensible Heat Loss*.

As variáveis correspondentes às necessidades de energia para aquecimento e arrefecimento são *Ideal Loads Air Heating Energy* e *Ideal Loads Air Total Cooling Energy*.

Além das variáveis atrás referidas, variáveis tais como as temperaturas exterior e interior foram solicitadas para elaboração de gráficos relativos ao comportamento térmico do edifício em estudo. As designações dadas às variáveis referidas são *Outdoor Dry Bulb* e *Zone Mean Air Temperature*, respectivamente.

### 3.5 - Outros Pressupostos

Uma vez o edifício se encontrar desabitado, neste trabalho foram considerados alguns pressupostos quanto à funcionalidade do mesmo.

No entanto, teve-se o cuidado em assumir propósitos coerentes com a nossa realidade e com a disponibilidade do edifício.

Os pressupostos indicados de seguida foram assumidos para efeito de cálculo térmico dinâmico, ou seja, aquando da análise com base no programa informático.

Apresenta-se de seguida a síntese do conjunto de pressupostos adoptados na elaboração do estudo ao comportamento térmico do edifício em causa:

➤ Portadas interiores de Madeira:

No Quadro 3.3 encontram-se indicadas as percentagens relativas à actividade das portadas interiores.

Horas	1 de Janeiro a 30 de Abril (%)	1 de Maio a 30 de Setembro (%)	1 de Outubro a 31 de Dezembro (%)	Fins-de-Semana (%)
0:00 - 9:00	100	100	100	100
9:00 - 19:00	0	70	0	
19:00 - 24:00	100	100	100	

Quadro 3.3 – Percentagens relativas à actividade das portadas

Como se pode verificar, considerou-se que, entre as 19h e as 9h, as portadas estarão 100% activas. Este facto deve-se ao fecho das portadas após encerramento do escritório.

➤ Actividades dos trabalhadores:

No que respeita a este aspecto, tendo em conta as diferenças de esforço envolvidas, foram considerados dois tipos de actividades. Um primeiro para os funcionários com tarefas mais técnicas, à frente designados por funcionários do tipo I, e um outro para os trabalhadores que têm a seu cargo as tarefas mais pesadas, considerados para efeitos de cálculo, funcionários do tipo II.

Nos Quadros 3.4 e 3.5 estão indicadas as quantidades de trabalho, em W/pessoa, para os dois casos em apreço.

- *Funcionários Tipo I:*

Horas	1 de Janeiro a 31 de Dezembro (W/pessoa)	Fins-de-Semana (W/pessoa)
0:00 - 9:00	0	0
9:00 - 13:00	117	
13:00 - 15:00	0	
15:00 - 19:00	117	
19:00 - 24:00	0	

Quadro 3.4 – Energia necessária para desempenhar as funções de escritório

O valor de 117 W/pessoa corresponde a um valor energético típico para quem trabalhe em escritórios (valor consultado no Manual do *Energy Plus* [10]).

- *Funcionários Tipo II:*

Horas	1 de Janeiro a 31 de Dezembro (W/pessoa)	Fins-de-Semana (W/pessoa)
0:00 - 8:00	0	0
8:00 - 12:00	283,5	
12:00 - 14:00	189	
14:00 - 20:00	283,5	
19:00 - 24:00	0	

Quadro 3.5 – Energia necessária para desempenhar as funções de cozinha e limpeza

Enquanto o valor 283,5 W/pessoa corresponde a um valor médio de energia gasta na elaboração de limpezas no escritório, o valor de 189 W/pessoa corresponde a um consumo médio de energia causado devido a tarefas de cozinha (valores igualmente consultados no Manual do *Energy Plus* [10]).

➤ Percentagem de Funcionários:

- *Funcionários Tipo I:*

No Quadro 3.6 estão indicadas as percentagens de funcionários que se encontram a trabalhar ao longo do dia, isto é, a percentagem de trabalhadores que estão a gastar 117 W.

Horas	1 de Janeiro a 31 de Dezembro (%)	Fins-de-Semana (%)
0:00 - 9:00	0	0
9:00 - 13:00	100	
13:00 - 15:00	0	
15:00 - 19:00	100	
19:00 - 24:00	0	

Quadro 3.6 – Percentagem de trabalhadores a desempenhar as funções no escritório

*- Funcionários Tipo II:*

O Quadro 3.7 é relativo às percentagens de funcionários do tipo II que se encontram a trabalhar ao longo dos diversos dias do ano.

Horas	1 de Janeiro a 31 de Dezembro (%)	Fins-de-Semana (%)
0:00 - 8:00	0	0
8:00 - 12:00	50	
12:00 - 16:00	100	
16:00 - 20:00	50	
20:00 - 24:00	0	

Quadro 3.7 – Percentagem de empregados a desempenhar as suas funções

➤ Iluminação:

No Quadro 3.8 está indicado o funcionamento dos sistemas de iluminação, em percentagem, ao longo do dia, nas zonas dedicadas exclusivamente a trabalhos de escritório.

Horas	1 de Janeiro a 30 de Abril (%)	1 de Maio a 30 de Setembro (%)	1 de Outubro a 31 de Dezembro (%)	Fins-de-Semana (%)
0:00 - 8:00	0	0	0	0
8:00 - 20:00	70	30	70	
20:00 - 24:00	0	0	0	

Quadro 3.8 – Funcionamento dos sistemas de iluminação nas zonas de escritório

➤ Iluminação (Sótão):

O Quadro 3.9 é análogo ao 3.8, mas referente apenas ao sótão do edifício.

Horas	1 de Janeiro a 31 de Dezembro (%)	Fins-de-Semana (%)
0:00 - 8:00	0	0
8:00 - 20:00	90	
20:00 - 24:00	0	

Quadro 3.9 – Funcionamento dos sistemas de iluminação no sótão

➤ Equipamentos:

No Quadro 3.10 indica-se o funcionamento dos equipamentos, em percentagem, com uso exclusivo no escritório.

Horas	1 de Janeiro a 31 de Dezembro (%)	Fins-de-Semana (%)
0:00 - 9:00	0	0
9:00 - 19:00	80	
19:00 - 24:00	0	

Quadro 3.10 - Funcionamento dos equipamentos de escritório

➤ Equipamentos (Sótão):

O Quadro 3.11 refere-se ao funcionamento dos equipamentos, em percentagem, existentes no sótão.

Horas	1 de Janeiro a 31 de Dezembro (%)	Fins-de-Semana (%)
0:00 - 8:00	0	0
8:00 - 20:00	30	
20:00 - 24:00	0	

Quadro 3.11 - Funcionamento dos equipamentos do sótão

## Capítulo 4 - Análise do comportamento térmico do edifício para as soluções construtivas actuais

Neste capítulo são indicados os resultados obtidos com os dois métodos utilizados para o estudo do comportamento térmico do edifício, RCCTE e *Energy Plus*, considerando as soluções construtivas actuais.

### 4.1 - Temperatura Interior

A Figura 4.1 apresenta a evolução das temperaturas interior e exterior do edifício ao longo do ano, para um piso intermédio (terceiro piso), sem recurso a equipamentos para obtenção de conforto.

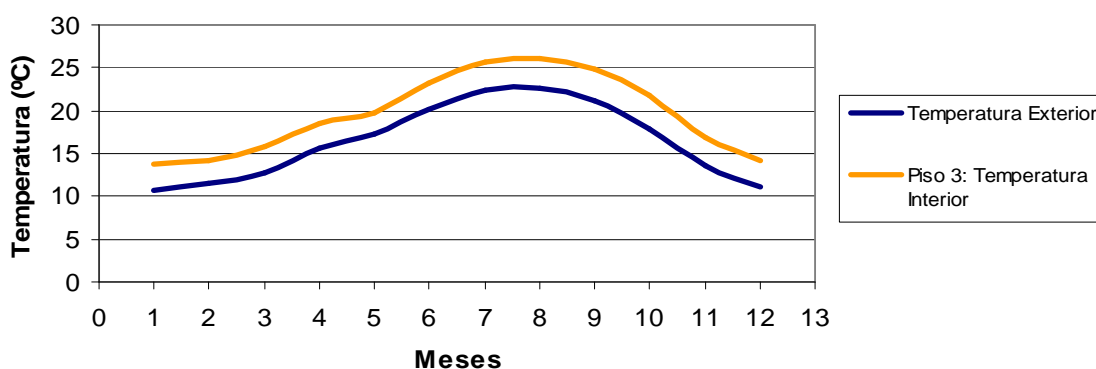


Figura 4.1 – Evolução da temperatura média mensal

Da análise do gráfico da Figura 4.1 verifica-se que a temperatura média mensal no interior da habitação é sempre superior à temperatura média mensal exterior.

Para uma melhor percepção do comportamento térmico do edifício, apresentam-se, nas Figuras 4.2 e 4.3, a evolução dos valores horários das temperaturas interior e exterior, obtidos ao longo das 24 horas, para os dias mais críticos para as situações de Inverno e Verão respectivamente. De referir que os valores apresentados correspondem a um piso intermédio (Piso 3).

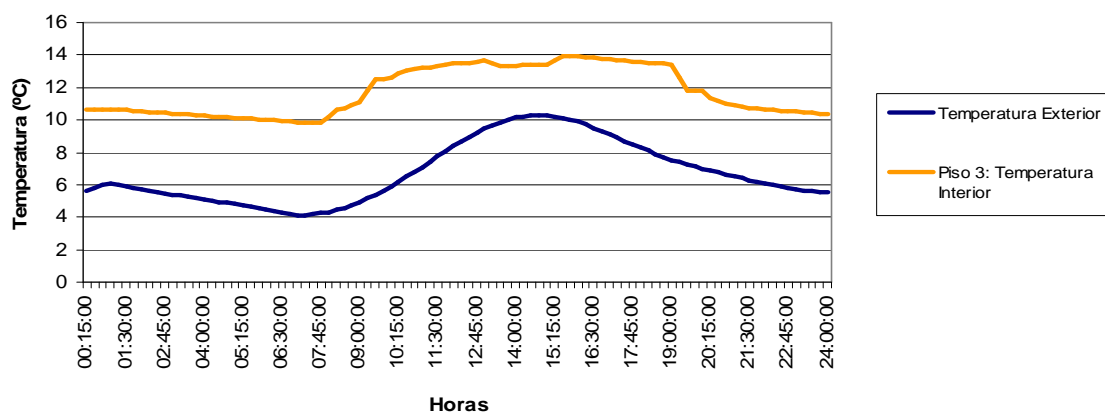


Figura 4.2 - Evolução da temperatura no dia 31 de Janeiro

Do gráfico da Figura 4.2 constata-se que a temperatura interior é sempre superior à exterior, e que as suas variações são idênticas. No entanto, no período de almoço, das 13h às 15h, embora se verifique um acréscimo da temperatura exterior, a interior diminui. Tal facto deve-se à pausa para almoço dos trabalhadores, donde resulta uma quebra dos ganhos internos na zona. Devido a esta situação as diferenças entre as temperaturas exterior e interior rondam os 4 °C, fora do horário de trabalho, e os 5 °C, durante o período de ocupação humana.

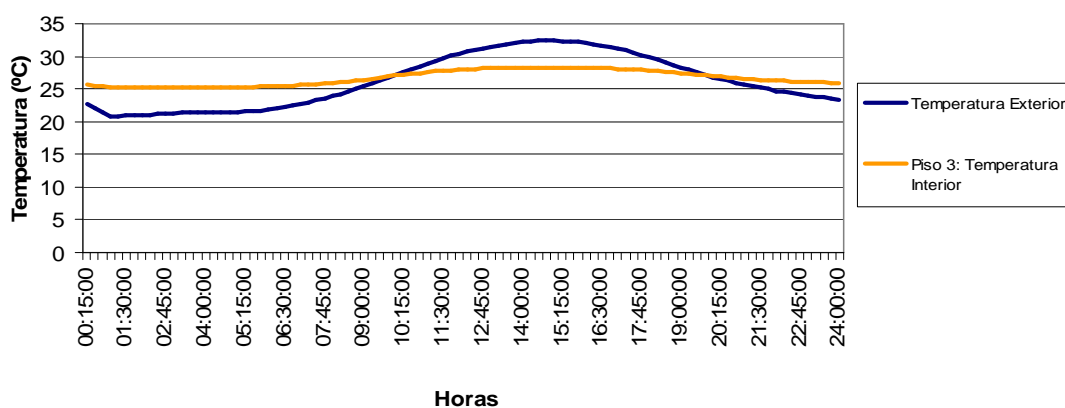


Figura 4.3 - Evolução da temperatura no dia 15 de Julho

No dia mais quente do ano o edifício apresenta temperaturas interiores entre os 25 e os 28 °C, que estão bastante próximas do máximo de referência indicado pelo RCCTE que é 25 °C. Tal situação indicia que as suas necessidades energéticas para arrefecimento serão reduzidas. Contudo, será necessário proceder a cálculos de forma a obter resultados concisos que demonstrem a viabilidade da constatação gráfica.

É de notar que a temperatura no interior do edificado é inferior à ambiente durante o dia, mas superior durante a noite. Tal facto pode ser justificado pela grande inércia apresentada pelo edifício estudado.

A elevada inércia térmica faz com que as paredes envolventes absorvam o calor durante o dia e, consequentemente, retardem a sua entrada para o interior. À noite, o calor armazenado nas paredes é transferido para o interior, o que justifica o facto da sua temperatura se apresentar relativamente constante face à variabilidade da exterior.

## 4.2 - Análise dos resultados fornecidos pelo *Energy Plus* para a estação de aquecimento (Inverno)

No Quadro 4.1 são apresentados os valores dos ganhos e perdas de calor associados às zonas térmicas do edifício em estudo, ao longo da estação de aquecimento.

Estação de Inverno	Perdas Infiltração [kWh]	Ganhos Infiltração [kWh]	Ganhos Internos [kWh]	Perdas Envidraçados [kWh]	Ganhos Envidraçados [kWh]	Ganhos Envolvente [kWh]	Perdas Envolvente [kWh]	Nic [kWh]
Piso1	3799,08	0,41	3039,87	1198,82	1272,87	16,86	4826,58	5711,32
Piso2	3983,53	0,47	3162,45	1082,30	818,13	20,50	4959,37	6219,79
Piso3	3646,04	0,38	3162,45	1548,88	936,69	20,36	5029,06	6337,48
Piso4	3242,61	0,33	3162,45	1840,00	1295,65	18,56	5156,06	6029,14
Piso5	2963,16	0,72	3144,94	1146,31	745,65	-	9021,28	9478,11
Sótão	1051,26	0,46	1524,67	-	-	-	6310,20	6075,20

Quadro 4.1 – Valores das perdas e ganhos durante o Inverno

Da análise do Quadro 4.1 verifica-se alguma semelhança nos valores de perdas e ganhos obtidos para os cinco primeiros pisos do edifício.

Nas perdas por infiltração verifica-se que estas são maiores nos pisos inferiores devido ao seu maior volume útil. Enquanto que as diferenças de valores, entre os dois primeiros pisos,



resultam da menor área útil do primeiro, as diferenças verificadas entre os restantes pisos derivam da diminuição do pé-direito, traduzindo-se assim num menor volume dos pisos superiores.

Ao contrário do que acontece nas perdas, os ganhos por infiltração são reduzidos. Tal facto era expectável, dado a entrada do ar frio exterior nas zonas aquecidas proporcionar perdas e não ganhos de calor interior.

Os ganhos internos são semelhantes nos cinco primeiros pisos, notando-se ligeiras diferenças em resultado das áreas úteis de cada piso. Contudo, no sótão a diferença de ganhos internos face aos demais é significativa. Isto deve-se não só à sua menor área útil, mas também ao facto do número de trabalhadores e das actividades realizadas serem diferentes.

As trocas de calor pelos envidraçados, nas diferentes zonas, estão dependentes da área total do envidraçado e da sua orientação. De notar que o quarto piso apresenta mais ganhos e perdas que os restantes, devido à sua maior área de envidraçado no alçado principal e no alçado posterior.

Como seria de esperar, os ganhos pela envolvente são reduzidos. Isto justifica-se porque o ambiente interior a aquecer, se encontra a uma temperatura mais próxima do limite mínimo de referência que a exterior.

As perdas pelos elementos da envolvente são semelhantes nos primeiros quatro pisos. No entanto, neste grupo de pisos, o primeiro e o quarto são os que apresentam menor e maior valores, respectivamente. Este facto justifica-se pela menor área envolvente do primeiro piso e por o quarto piso desempenhar, numa reduzida área, o papel de cobertura, dado o ligeiro recolhimento do quinto piso.

O quinto piso e o sótão são os que apresentam maiores perdas pela envolvente. O facto destes pisos desempenharem a função de cobertura do edifício, faz com que os mesmos apresentem uma maior área de contacto com o ambiente exterior. Como é evidente, as perdas que ocorrem pelos elementos da envolvente são superiores quando estes se encontram em contacto com o ambiente exterior do que quando em contacto com outra zona aquecida.

No que respeita às necessidades de energia para aquecimento, verifica-se que o quinto piso é o que apresenta pior desempenho, em resultado da sua maior área em contacto com o ambiente exterior, face aos restantes pisos. No entanto, o facto do valor das necessidades

energéticas do sótão serem inferiores ao dos outros pisos poderá suscitar algumas dúvidas, dada a sua temperatura interior ser inferior aos das restantes zonas. No entanto se considerarmos que é a zona do edifício com menor área útil o valor indicado ganha sentido.

Para uma melhor visualização e percepção do comportamento dos pisos face ao condicionalismo da temperatura exterior, apresentam-se nas Figuras do subcapítulo 4.2.1, a evolução das necessidades energéticas do edifício ao longo do período de Inverno, para os seis pisos.

#### 4.2.1 - Análise da evolução das necessidades energéticas (Inverno)

As Figuras apresentadas neste subcapítulo visam comparar a evolução das necessidades de energia para aquecimento, verificadas nas diferentes zonas, face à evolução da temperatura exterior.

Encontram-se também representadas as temperaturas dos pisos após aquecimento através dos sistemas de climatização.

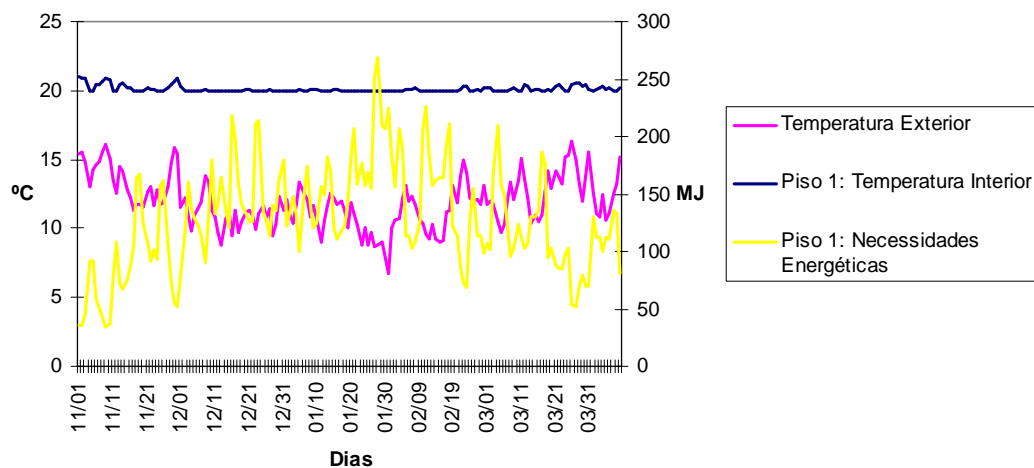


Figura 4.4 – Temperaturas e necessidades energéticas no Inverno para o 1º piso

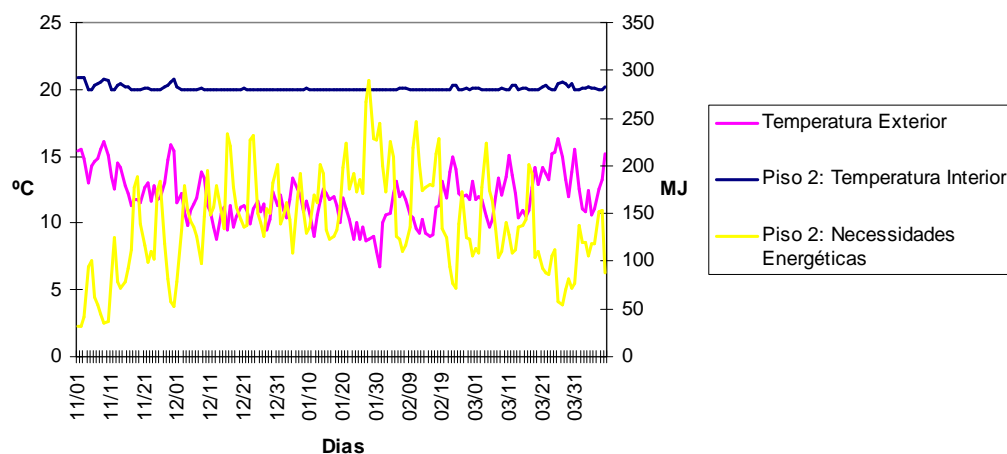


Figura 4.5 – Temperaturas e necessidades energéticas no Inverno para o 2º piso

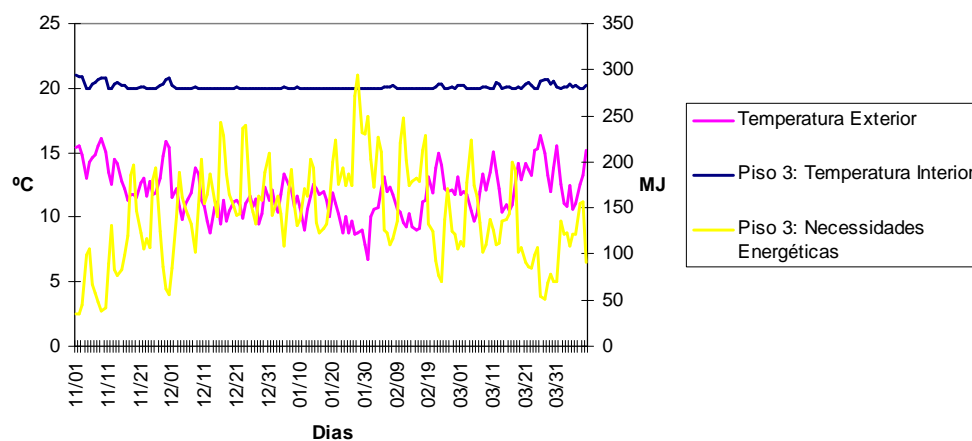


Figura 4.6 – Temperaturas e necessidades energéticas no Inverno para o 3º piso

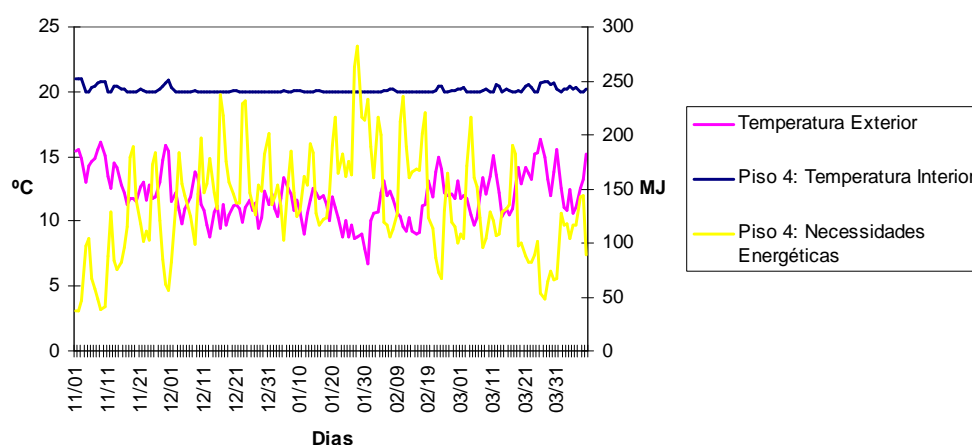


Figura 4.7 – Temperaturas e necessidades energéticas no Inverno para o 4º piso

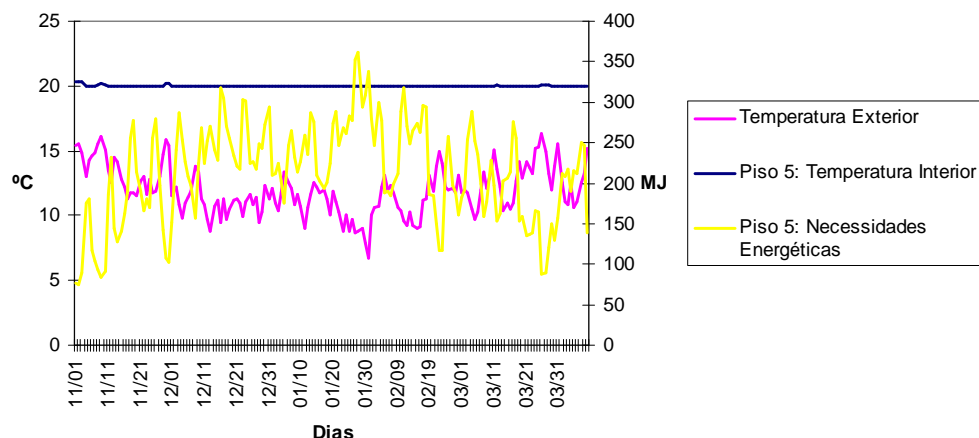


Figura 4.8 – Temperaturas e necessidades energéticas no Inverno para o 5º piso

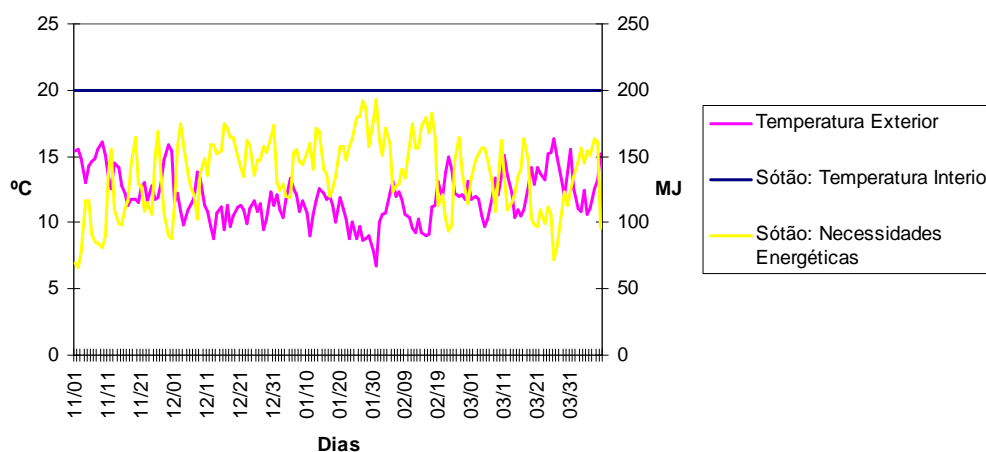


Figura 4.9 – Temperaturas e necessidades energéticas no Inverno para o sótão

Da análise dos gráficos das Figuras 4.4 a 4.9, verifica-se um aumento da energia necessária para aquecimento com a diminuição da temperatura exterior. É de notar o facto dos picos mais altos das necessidades de energia para aquecimento surgirem a meio do período de Inverno e os picos mais baixos no início e fim desse mesmo período.

A permanente existência de necessidades de energia diárias e a quase constante temperatura interior no limite de referência, ao longo do período considerado, demonstram que as temperaturas nas diferentes zonas do edifício, quando não aquecidas, se apresentam inferiores a 20°C.

Comparando os gráficos das diferentes zonas que estruturam o edifício verifica-se que o sótão é aquele que apresenta necessidades de aquecimento mais constantes ao longo do período de Inverno.

O facto de o quinto piso desempenhar, numa grande área, o papel de cobertura e apresentar uma geometria semelhante ao dos pisos intermédios, torna as suas necessidades de energia maiores que as dos restantes.

Quanto aos quatro primeiros pisos, estes apresentam, de um modo geral, necessidades de energia para aquecimento idênticas. O primeiro, dada a sua menor área útil e menor área de envidraçados, apresenta menores necessidades que os restantes.

As diferenças existentes entre as necessidades máximas e mínimas são, portanto, de alguma relevância, registando-se diferenças de 79,85KWh e 35,03KWh, para os quinto e sexto pisos, respectivamente.

#### 4.3 - Análise dos resultados fornecidos pelo *Energy Plus* para a estação de arrefecimento (Verão)

No Quadro 4.2 estão indicados os valores dos ganhos e perdas que as diferentes zonas térmicas do edifício apresentam durante o período de Verão.

Estação de Verão	Perdas Infiltração [kWh]	Ganhos Infiltração [kWh]	Ganhos Internos [kWh]	Perdas Envidraçados [kWh]	Ganhos Envidraçados [kWh]	Ganhos Envoltente [kWh]	Perdas Envoltente [kWh]	Nvc [kWh]
Piso1	1035,18	279,22	1869,84	394,51	1014,27	1173,69	1261,94	1621,40
Piso2	1076,37	294,88	1941,38	346,91	729,75	1171,36	1270,98	1426,06
Piso3	928,20	268,88	1941,38	459,11	921,19	1116,99	1439,53	1400,89
Piso4	846,66	232,82	1941,38	552,56	1124,06	1137,90	1416,46	1577,32
Piso5	843,19	210,82	1931,16	348,86	510,47	1272,08	411,30	2365,77
Sótão	342,48	73,91	1163,56	-	-	1326,01	80,68	2172,40

Quadro 4.2 – Perdas e ganhos obtidos durante o Verão, antes da reabilitação

Em analogia com o período de Inverno, verifica-se uma diminuição das perdas e ganhos por infiltração para os pisos superiores, dado a redução do pé-direito e a consequente redução do seu volume. Os ganhos de infiltração embora reduzidos já se fazem notar no Verão, em virtude do ar quente que se faz sentir nos períodos de maior calor proporcionar um aumento da temperatura interior.

Com exceção do sótão, os ganhos internos são bastante semelhantes nos vários pisos. A justificação para as diferenças existentes segue o mesmo princípio do período de Inverno.

Relativamente aos envidraçados verifica-se que, ao contrário do que sucede no Inverno, os ganhos são superiores às perdas. Esta constatação pode-se justificar pela temperatura exterior, durante o dia, ser superior à interior, sobreaquecendo, assim, o espaço interior. As perdas que ocorrem pelos envidraçados durante o período de Verão surgem, maioritariamente, durante a noite.

No que respeita às trocas de calor pelos elementos da envolvente, verifica-se que os ganhos são superiores às perdas. Há que salientar os ganhos apresentados pelo sótão, que apesar da sua reduzida área útil, apresenta ganhos superiores aos dos restantes pisos em virtude de se encontrar bastante exposto à radiação solar.

Relativamente às necessidades de energia para arrefecimento, verifica-se que estas são maiores nos pisos que necessitam de maior energia para aquecimento no Inverno. No entanto, as necessidades de energia para arrefecimento durante o Verão são menores que as de aquecimento durante o Inverno.

#### 4.3.1 - Análise da evolução das necessidades energéticas (Verão)

As Figuras deste subcapítulo permitem uma comparação entre as necessidades apresentadas pelas diferentes zonas face à evolução da temperatura exterior no Verão. Encontram-se também representadas as temperaturas dos pisos após arrefecimento através dos equipamentos.

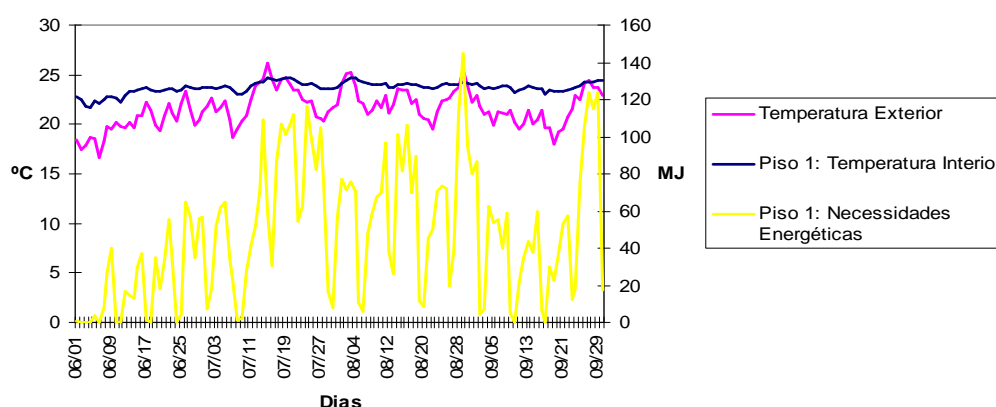


Figura 4.10 – Temperaturas e necessidades energéticas no Verão para o 1º piso

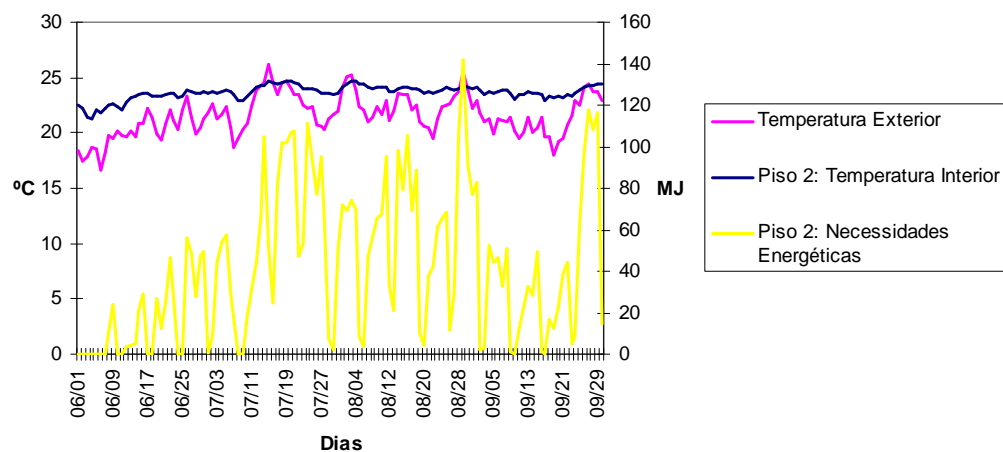


Figura 4.11 – Temperaturas e necessidades energéticas no Verão para o 2º piso

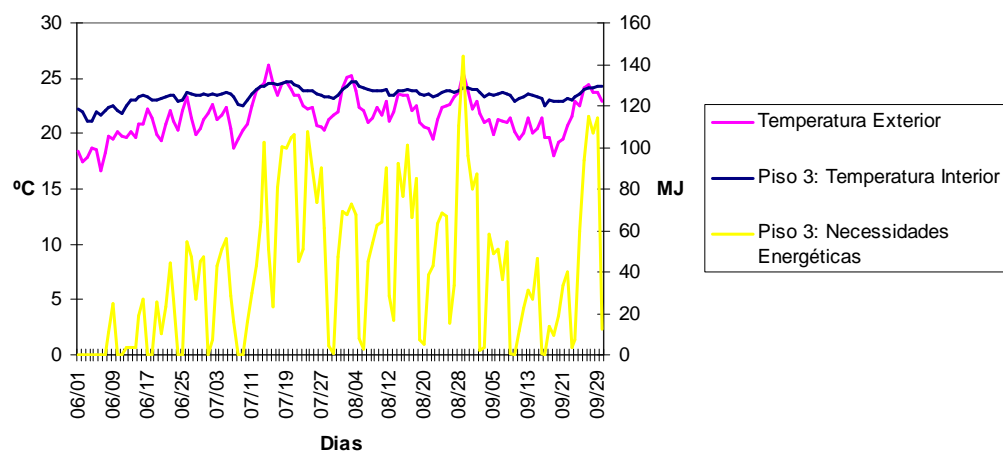


Figura 4.12 – Temperaturas e necessidades energéticas no Verão para o 3º piso

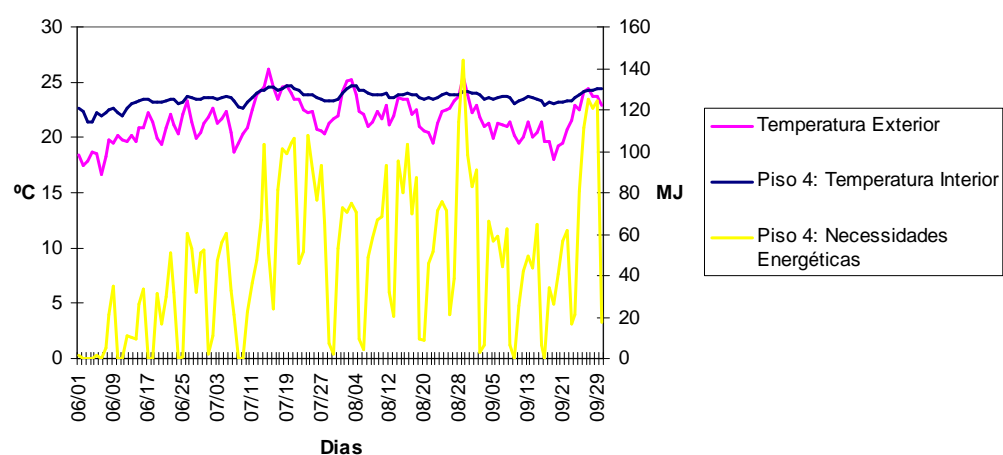


Figura 4.13 – Temperaturas e necessidades energéticas no Verão para o 4º piso

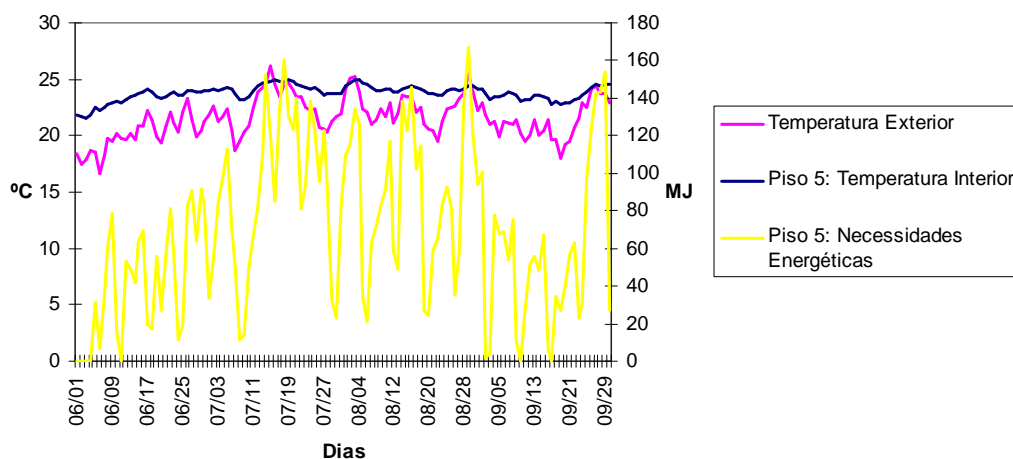


Figura 4.14 – Temperaturas e necessidades energéticas no Verão para o 5º piso

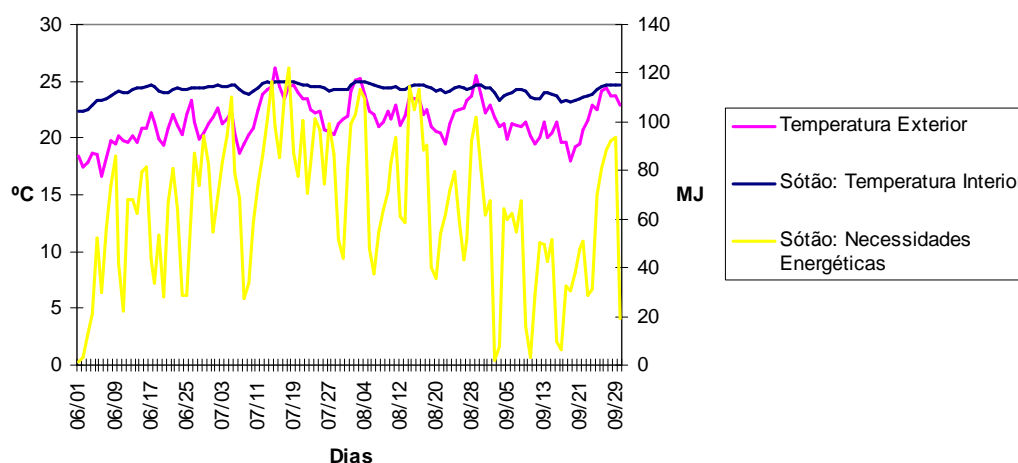


Figura 4.15 – Temperaturas e necessidades energéticas no Verão para o sótão

Analisando os gráficos para os diferentes pisos e comparando-os com os obtidos no Inverno, verifica-se um melhor comportamento térmico do edificado no Verão dada a sua grande inércia. Embora a inércia térmica seja também um factor positivo nos períodos de Inverno, verificam-se menores necessidades de energia no Verão. O facto de no Verão a temperatura exterior assumir valores mais próximos dos limites de referência estabelecidos pelo regulamento, contribui para que a temperatura no interior se apresente mais próxima dos seus limites e, assim, necessitar de menor consumo de energia para arrefecimento do seu espaço. No entanto, tal como se constatou no Inverno, o quinto piso é o que necessita de mais energia para arrefecimento. As razões para este facto são idênticas às já indicadas para o período de Inverno, isto é, o quinto piso, por desempenhar funções de cobertura e, simultaneamente, possuir uma maior área útil, apresenta maiores necessidades de energia para aquecimento e arrefecimento.



Contrariamente ao registado no Inverno, no período de Verão existem dias em que não se verificam quaisquer necessidades de energia para a obtenção do conforto pretendido. Estão neste caso os dias 2, 3 e 4 de Junho, para todos os pisos à excepção do sótão.

As diferenças existentes entre as necessidades máximas e mínimas são de menor amplitude que as verificadas no período de Inverno, ou seja, são da ordem dos 46,25KWh e 33,94KWh, para os quinto piso e sótão, respectivamente. A menor diferença entre as necessidades de energia máximas e mínimas nos diversos pisos deve-se ao melhor comportamento térmico que o edifício apresenta durante o período de Verão.

#### 4.4 - Comparação entre os resultados obtidos pelo *Energy Plus* e RCCTE

Neste subcapítulo é feita uma comparação entre os valores obtidos pelo RCCTE e pelo *Energy Plus*, para os períodos de Verão e Inverno.

Dado o edifício corresponder a uma única fracção autónoma, o RCCTE analisa-o como uma única zona térmica, pelo que os ganhos e perdas apresentados corresponderão ao seu todo.

Nas Figuras 4.16 e 4.17 constam as sínteses dos resultados obtidos com os dois métodos de análise:

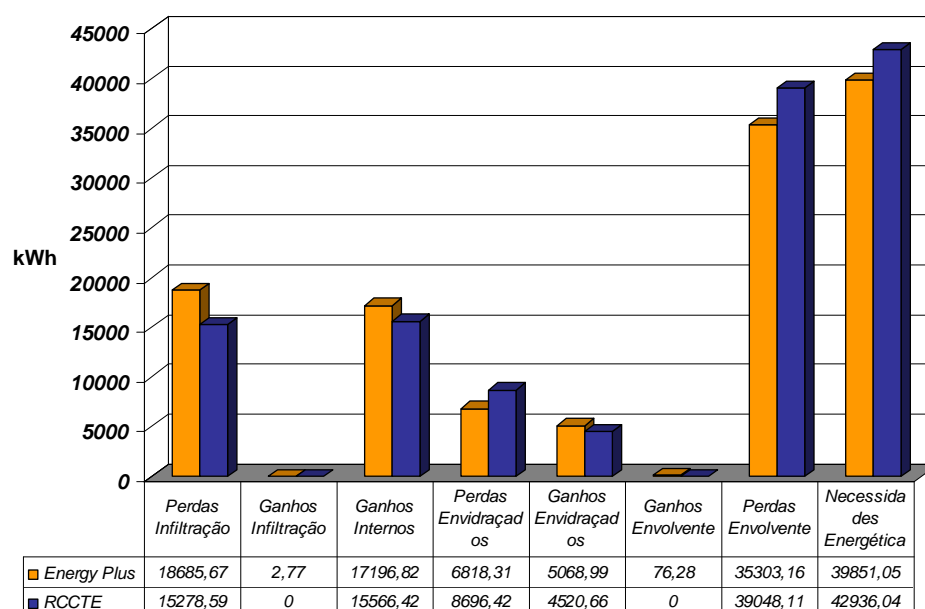


Figura 4.16 – Comparação dos valores das perdas e ganhos no Inverno, antes da reabilitação

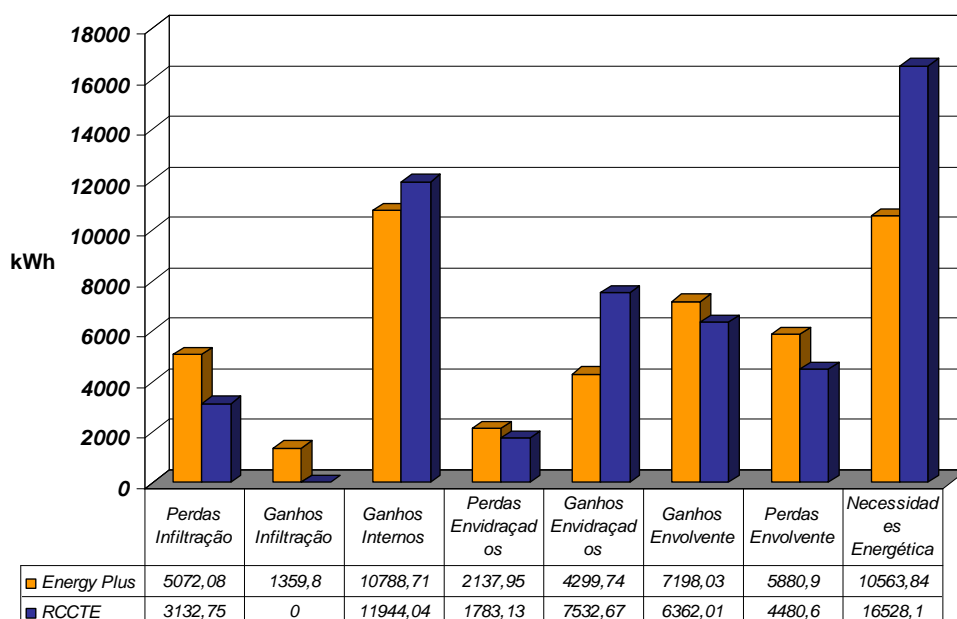


Figura 4.17 – Comparação dos valores das perdas e ganhos no Verão, antes da reabilitação

Analisando os resultados obtidos por ambas as metodologias, verifica-se que as necessidades energéticas apresentadas pelo edifício para aquecimento e arrefecimento do espaço interior são menores aquando da abordagem pelo *Energy Plus*. Estas diferenças são, sensivelmente, de 3085kWh e 5964kWh, para o período de Inverno e Verão, respectivamente. Embora as perdas por infiltração sejam maiores na análise efectuada com o *Energy Plus*, o facto deste considerar ganhos de infiltração, torna a diferença total mais próxima da obtida pelo RCCTE. No entanto, a diferença registada deve-se, essencialmente, à maior área útil considerada pelo *Energy Plus* comparativamente com a que fora utilizada para os cálculos com o RCCTE.

Relativamente aos ganhos internos, estes não são muito exactos, dado que em ambos os casos os valores são obtidos a partir de determinados pressupostos. No entanto, há que salientar que enquanto no Inverno o RCCTE considera menores ganhos que o *Energy Plus*, no Verão sucede precisamente o contrário.

No que respeita à troca de calor pelos envidraçados, no Inverno, verifica-se uma maior diferença entre as perdas e os ganhos na abordagem pelo RCCTE.

No Verão, as trocas de calor pelos envidraçados, são aquelas onde se verifica um maior contraste entre os valores obtidos pelos dois processos, o que, por sua vez, se vai reflectir nas necessidades de energia final obtidas.

Dados relativos às propriedades dos envidraçados são sempre uma incógnita que poderá dar origem a eventuais desacertos. Contudo, no RCCTE, o valor da condutibilidade térmica para os vãos envidraçados foi obtido com recurso ao ITE50 [9]. Este valor é de menor fiabilidade

que o obtido pelo *Energy Plus*, pois neste são consideradas as dimensões da caixilharia, e a sua condutância, para além das do vidro. Outras propriedades, tal como a reflectividade dos mesmos, poderão ser introduzidas no *Energy Plus*, de modo a poder corresponder de uma forma mais real às características dos vãos envidraçados que compõem o edificado.

Assim, o menor rigor apresentado pelo *RCCTE + ITE50* para a caracterização dos vãos envidraçados implica uma maior exigência na análise das trocas de calor, que daí advêm, nos dois períodos.

No que respeita aos ganhos e perdas pelos elementos da envolvente, no período de Verão, verifica-se que, embora semelhantes, os mesmos são maiores na elaboração do estudo pelo *Energy Plus*. No período de Inverno, as perdas pela envolvente obtidas pelo *Energy Plus* são menores.

Do ponto de vista geral, estas diferenças de resultados verificadas pelos dois métodos de análise devem-se essencialmente às diferentes metodologias de cálculo adoptadas e aos dados climáticos associados. O *RCCTE* baseia-se numa análise estática, em que as trocas de calor são determinadas em regime permanente para os dois períodos de referência (Inverno e Verão).

Em contrapartida, o *Energy Plus*, através de uma análise dinâmica, consegue determinar as trocas de calor em cada instante da simulação.

## Capítulo 5 - Reabilitação térmica

Dado o edifício não satisfazer todos os requisitos mínimos, impostos pela regulamentação actual (RCCTE), torna-se necessário incorporar medidas de eficiência energética com vista a melhorar o seu comportamento térmico e, deste modo, cumprir o preconizado pela mesma regulamentação.

São apresentadas de seguida as várias soluções que poderão ser adoptadas numa reabilitação térmica.

### 5.1 - Soluções para reabilitação térmica de edifícios

#### 5.1.1 - Reabilitação térmica de paredes exteriores

Na construção de um edifício há que ter em conta vários aspectos, alguns dos quais, embora irrelevantes numa avaliação simplificada, podem ser determinantes ao ponto de influenciar significativamente o conforto térmico numa habitação. Como forma de exemplificar refira-se a cor da envolvente exterior do edifício. Esta desempenha um papel muito importante no balanço energético na medida em que as cores claras, por possuírem valores baixos de coeficiente de absorção solar, devem ser utilizadas preponderantemente em edifícios localizados em zonas de clima ameno e quente. Em contrapartida, por razões contrárias, em zonas de clima frio deve-se recorrer a cores mais escuras.

Quando se pretende reabilitar termicamente um edifício temos de analisar as soluções construtivas apresentadas pelo mesmo, especialmente no que se refere às paredes que se encontram em contacto com o ambiente exterior. A existência de uma parede exterior, de grande espessura, não é sinónima de boa qualidade térmica no interior. O material que a constitui determina de forma significativa a sua resistência térmica.

O edifício em análise possui paredes exteriores de alvenaria de pedra de grande espessura, com coeficiente de transmissão térmica de  $1,87W/m^2 \cdot ^\circ C$ . No entanto, o valor de referência indicado no RCCTE, para a região de Lisboa, é de apenas  $0,70W/m^2 \cdot ^\circ C$ .

Assim, a necessidade de melhorar o isolamento da envolvente exterior do edifício torna-se inevitável se quisermos garantir um maior conforto interior sem recorrer ao uso exagerado de equipamentos para esse efeito.

A aplicação de isolamento térmico nos elementos da envolvente, de forma a melhorar a sua resistência térmica, pode ser feita no interior, no exterior ou na caixa-de-ar.

Por razões de ordem arquitectónica, no edifício em estudo, apenas a colocação de isolamento pelo interior se torna viável.

#### **5.1.1.1 - Reforço com isolamento pelo interior**

A aplicação de isolamento térmico pelo interior sendo vantajosa em determinados aspectos, apresenta, no entanto, alguns inconvenientes.

As principais vantagens da sua aplicação devem-se ao facto de permitir a manutenção de toda a fachada do edifício, de ser independente das condições climatéricas apresentadas durante a sua aplicação, ser de fácil aplicação e de reduzido custo.

As suas desvantagens prendem-se essencialmente com o facto de além de não eliminar a totalidade das pontes térmicas, implicar uma diminuição da inércia térmica e do espaço útil interior.

Muitos dos edifícios possuem várias fracções autónomas, e nestes casos, reabilitar termicamente pelo interior poderá ser a solução mais viável. Isto, pelo facto desta solução permitir reabilitar termicamente cada fracção isoladamente.

Existem diversas formas de reforçar termicamente um edifício pelo interior, que iremos analisar de seguida:

##### **5.1.1.1.1 - Painéis isolantes pré-fabricados**

Tal como o próprio nome indica, esta solução corresponde à aplicação de painéis isolantes pré-fabricados, em que o isolante térmico já vem incorporado com o material de acabamento. O facto destes painéis serem pré-fabricados e se apresentarem em formato de “sanduíche”, permite não só que a sua aplicação seja fácil como também rápida, reduzindo a possibilidade de ocorrência de erros durante todo o processo de montagem.

Estes painéis prefabricados são adaptados às dimensões solicitadas, sendo que a altura total dos painéis terá de corresponder à altura, medida pelo interior, da parede onde se pretende aplicar, de forma a cobrir toda a área interior da parede a reabilitar.

A fixação destes painéis à estrutura de suporte pode ser conseguida por colagem ou através de uma estrutura de apoio.

#### **5.1.1.1.2 - Contra-fachada executada pelo lado interior**

Neste tipo de solução é usual utilizar-se isolamento térmico revestido com placas de gesso cartonado. Esta é a solução proposta para a reabilitação térmica do edifício em causa, em que, como isolante térmico, se utiliza a lã mineral (lã de rocha).

Em alternativa à utilização de placas de gesso cartonado pode-se utilizar um pano de alvenaria de tijolo furado com 7 centímetros de espessura, de forma a criar uma parede dupla ou “sanduíche”.

Embora ambas as alternativas impliquem uma redução do espaço interior, a utilização do pano de alvenaria não só agrava a redução desse espaço, como também sobrecarrega mais a estrutura. Dado a grande redução de área, a aplicação desta solução é feita sem a existência de qualquer espaço de ar entre o isolante e a estrutura de suporte.

No entanto, caso seja criado um espaço de ar, há que garantir que a água que aí se infiltre seja encaminhada para o exterior. Para tal, as colocações, de uma caleira para recolha da água e de tubos para o seu encaminhamento, não poderão ser esquecidas.

#### **5.1.1.2 - Reforço com isolamento pelo exterior**

Do ponto de vista térmico, a intervenção pelo exterior torna-se mais eficaz que pelo interior, na medida em que elimina mais eficazmente as pontes térmicas, devido à sua aplicação em contínuo sobre a fachada, e não reduz a inércia do edifício.

A aplicação de isolamento térmico pelo exterior não reduz a área interior do compartimento a reabilitar e, a sua aplicação em contínuo, previne o aparecimento de condensações.

A importância da inércia térmica num edifício é indiscutível e, como tal, tem de ser tida em conta aquando da elaboração da análise térmica dos edifícios. Quanto maior for a inércia de um edifício maior será o calor armazenado no interior das paredes que o constituem. Este

facto permite retardar o sobreaquecimento durante o Verão e contribui para a superioridade da temperatura interior, relativamente ao ambiente exterior, durante o Inverno.

Deste modo, têm sido desenvolvidos diversos sistemas de isolamento térmico pelo exterior, por toda a Europa, que podem ser classificados em três grupos, que se passam a referir:

#### **5.1.1.2.1 - Revestimentos independentes descontínuos com interposição de isolante térmico na caixa-de-ar**

Nesta solução o isolante térmico é colocado junto à estrutura de suporte, deixando um espaçamento para ventilação entre o isolante e o revestimento exterior.

Embora se possam utilizar placas de fibrocimento ou de material plástico para desempenhar a função de revestimento descontínuo independente, é mais usual utilizarem-se placas de pedra. Tal se deve essencialmente ao facto da pedra apresentar uma boa durabilidade, boa reacção ao fogo (classe A1), de ser esteticamente agradável e de desempenhar bem a função de protecção do isolante térmico, impedindo, juntamente com a ventilação existente na caixa-de-ar, que a água da chuva contacte com o isolante. Para que a caixa-de-ar possua uma boa ventilação é aconselhável que a distância, entre o suporte e o tardo das placas, varie entre os 20 e os 50 mm.

A fixação do material isolante à estrutura de suporte e a sustentabilidade do revestimento é conseguida através de uma estrutura intermédia metálica ou de madeira.

A existência de um espaço de ar ventilado impede que a água da chuva entre em contacto com o isolante térmico e com a estrutura de suporte. Contudo, dada a possibilidade de penetração da água pelas juntas, entre placas, terão de existir aberturas na base do pano de revestimento, para que a água seja reencaminhada para o exterior. Na aplicação desta solução há que ter especial atenção às ligações com peitoris e outros elementos salientes, de modo a que os respectivos remates sejam executados de forma adequada.

#### **5.1.1.2.2 - Sistema ETICS**

O Sistema ETICS (External Thermal Insulation Composite Systems) é considerado nos dias de hoje uma solução de alta qualidade. Este sistema permite a utilização de acabamentos de diferentes espessuras, podendo, portanto, apresentar-se numa grande variedade de soluções de acabamento.

Na execução desta solução é muito usual utilizar-se o EPS (Expandable Polystyrene) colado ao suporte, com argamassa de cola, para desempenhar a função de isolamento térmico. Contudo, em determinados casos, é necessário recorrer a uma fixação mecânica complementar, de forma a evitar a sua descolagem. Colocado o isolante, procede-se à execução da camada de base do revestimento, onde é incorporada uma rede de fibra de vidro. A utilidade desta rede é a de permitir um acréscimo da resistência mecânica, aumentando a resistência ao choque e à fissuração do revestimento. No entanto, no caso de aplicação do sistema ETICS em zonas mais acessíveis a vandalismo, isto é, mais próximas do pavimento térreo, o sistema deverá ser reforçado com uma rede adicional de forma a aumentar a sua resistência mecânica contra possíveis acções futuras que possam danificar o sistema.

Embora muitas vezes não seja aplicada a camada de primário<sup>1</sup>, a sua presença é importante pois aumenta a estanquidade do sistema e melhora a aderência da camada de acabamento. Por último, é executada a camada de revestimento final.

#### **5.1.1.3 - Introdução de isolamento térmico na caixa-de-ar de paredes duplas**

Uma intervenção deste tipo só é possível quando existe uma caixa-de-ar intermédia entre dois panos. Esta solução construtiva é mais frequente em edifícios das décadas de 60 e 70.

A introdução de isolamento térmico na caixa-de-ar é um processo que, embora simples, rápido e económico, requer alguns cuidados. A inserção do isolante térmico na caixa-de-ar é efectuada por injeção deste através de furos previamente realizados na alvenaria. É muito frequente utilizarem-se espumas rígidas de poliuretano, pois além de terem um bom isolamento térmico, apresentam boas características acústicas e boa flexibilidade, o que as torna menos sensíveis a alterações ao longo do tempo. Em alternativa ao poliuretano podem-se injectar produtos isolantes a granel, tal como fibras ou grânulos.

Um dos cuidados a ter com a aplicação do isolante na caixa-de-ar é garantir que este preencha a totalidade da mesma, de forma a poder anular pontes térmicas.

---

<sup>1</sup> O primário não é mais do que uma pintura opaca à base de resinas em solução aquosa



### **5.1.2 - Reabilitação térmica de pavimentos**

A reabilitação térmica de um edifício não se consegue apenas com o tratamento das paredes exteriores, mas também com a reabilitação de todas as zonas que contribuem para o acentuar das perdas e dos ganhos de calor.

Num edifício as perdas através dos pavimentos podem chegar a 20% das perdas totais do mesmo, e, como tal, é necessário analisar e quantificar as trocas de calor que daí advêm, de modo a poder, no final, adoptar a melhor decisão.

Os pavimentos térreos ou que se encontram, sobre espaços não aquecidos, tais como garagens, zonas de comércio e espaços exteriores são os que apresentam maiores trocas de calor.

A regulamentação térmica actual apresenta valores de referência para o coeficiente de transmissão térmica de elementos horizontais, e como tal, é importante que os pavimentos do edifício a reabilitar apresentem valores próximos dos tabelados.

Na análise das perdas que ocorrem nos pavimentos sobre espaços não aquecidos é necessário conhecer a razão entre a área do elemento que separa o espaço útil interior do espaço não útil e a área do elemento que separa o espaço não útil do ambiente exterior. No entanto, para quantificar as perdas de calor que, à luz do RCCTE, o pavimento apresenta, é ainda necessário consultar a Tabela IV.1 do Decreto-Lei n.º 80/2006.

Tal como nas paredes, o reforço do isolamento térmico em pavimentos pode ser feito pelo exterior, interior ou dentro de um espaço vazio que possa existir dentro do pavimento.

Quando se pretende reforçar termicamente um pavimento pelo exterior é usual utilizarem-se tectos falsos com uma camada de isolante que possa ser coberto, melhorando assim a estética e a sua durabilidade. Outra alternativa para a elaboração de uma reabilitação exterior de pavimentos consiste em sistemas compósitos de isolamento térmico com revestimentos, delgados de ligantes sintéticos ou espessos de ligantes minerais, sobre o isolamento térmico.

A reabilitação térmica de um pavimento pelo interior baseia-se na aplicação do isolamento térmico entre a estrutura de suporte do pavimento e o revestimento de piso.

A inserção de isolamento térmico em vazios existentes no interior do pavimento encontra-se bastante limitada, já que a maioria dos pavimentos não possuem vazios no seu interior.

### 5.1.3 - Reabilitação térmica de coberturas

As coberturas podem ser inclinadas ou planas. Elas requerem uma especial atenção quando se trata do seu melhoramento térmico. Este facto deve-se à sua permanente exposição solar, tornando-se deste modo mais sensível às variações de temperatura.

Para uma eficaz e económica reabilitação das coberturas é essencial conhecer a funcionalidade dos pisos e compartimentos existentes a fim de se poderem identificar quais os espaços úteis do edifício.

No edifício em estudo, existe um sótão, que, por sua vez, serve de cozinha para todo o edifício. Deste modo, devemos considerar o sótão como espaço habitável, não fazendo sentido intervir ao nível da laje esteira.

É, portanto, na cobertura inclinada do sótão que terá de se intervir se quisermos eficazmente melhorar o conforto térmico do espaço útil do edifício em estudo.

A colocação do isolamento térmico pode ser realizado sobre ou sob a estrutura de madeira. Embora possa reduzir o pé-direito do sótão, torna-se mais prática a colocação do isolamento térmico pelo interior, pois evita qualquer intervenção ao nível das telhas e da estrutura de suporte.

No entanto, caso se pretenda elaborar uma intervenção pelo exterior, há que remover as telhas, de modo a poder colocar painéis de isolamento térmico com uma camada de material impermeabilizante incorporado.

Existem no entanto edifícios em que o sótão é um espaço não útil e ventilado. Quando assim é, é preferível que a intervenção se realize na laje de esteira em vez da cobertura, conseguindo-se assim alguma poupança no material isolante.

No caso de se tratar de uma cobertura em terraço, a reabilitação térmica poderá ser realizada quer pelo interior quer pelo exterior. Há, portanto, que ponderar sobre a forma de reabilitar mais conveniente para o edifício em causa, através do conhecimento da acessibilidade e do estado de conservação do interior e exterior da cobertura.

## 5.2 - Solução de reabilitação adoptada

Neste trabalho são propostas duas estratégias de melhoria do comportamento térmico do edifício em análise:

- Estratégia A: Intervenção ao nível da envolvente do edifício.
  - Envolvente opaca exterior;
  - Vãos envidraçados exteriores.
  
- Estratégia B: Estratégias ao nível da infiltração do ar.

Dado o edifício integrar um espaço histórico, não é aceitável qualquer intervenção que implique a alteração da fachada. Deste modo, a intervenção ao nível dos elementos da envolvente terá de ser efectuada, obrigatoriamente, pelo paramento interior. A solução adoptada corresponde à execução de uma contra-fachada pelo lado interior com a utilização de placas de isolamento térmico (3 cm de lã de rocha) e de gesso cartonado (1,5 cm). O gesso cartonado vai adicionar alguma resistência mecânica ao sistema, conferindo alguma protecção à camada de isolante. O facto de ser incombustível e um mau condutor de calor garante alguma protecção contra eventuais incêndios.

Relativamente à intervenção na cobertura, a solução adoptada é também ela feita pelo interior, com aplicação do isolante poliestireno expandido extrudido (3 cm) protegido por placas de gesso cartonado (1,5 cm).

A intervenção nos vãos envidraçados poderá implicar a substituição de vidros simples por duplos, a substituição da caixilharia, caso esta se apresente num estado bastante degradado, e possíveis intervenções no sombreamento dos envidraçados no período de Verão.

No edifício em causa, como a caixilharia se encontra muito deteriorada, por falta de manutenção, deverá ser removida. Esta teria sempre que ser removida em virtude de não suportar o vidro duplo. A substituição dos caixilhos vai aumentar o custo da reabilitação, mas também melhorar a qualidade térmica do edifício. É importante que se entenda a reabilitação térmica como um investimento, que ao fim de alguns anos, com a poupança de energia obtida, se tornará rentável.

O novo caixilho será de PVC, possuindo, assim, uma boa resistência contra influências climáticas, uma boa resistência ao choque, uma boa durabilidade e um bom comportamento face a incêndios.

## Capítulo 6 - Análise do comportamento térmico do edifício após reabilitação

Tal como na análise do comportamento térmico do edifício, para as soluções construtivas actuais, apresentam-se também os resultados obtidos com a implementação das medidas de reabilitação térmica referidas no subcapítulo 5.2, que se aplicam à envolvente interior dos elementos em contacto com o exterior, com os edifícios adjacentes e com o rés-do-chão.

### 6.1 - Evolução das necessidades energéticas após reabilitação na estação de aquecimento (Inverno) – Estratégia A:

Os gráficos apresentados nas Figuras 6.1 a 6.12, são referentes às temperaturas e necessidades energéticas horárias do edifício, para os diferentes pisos, antes e após a reabilitação, de 25 a 31 de Janeiro.

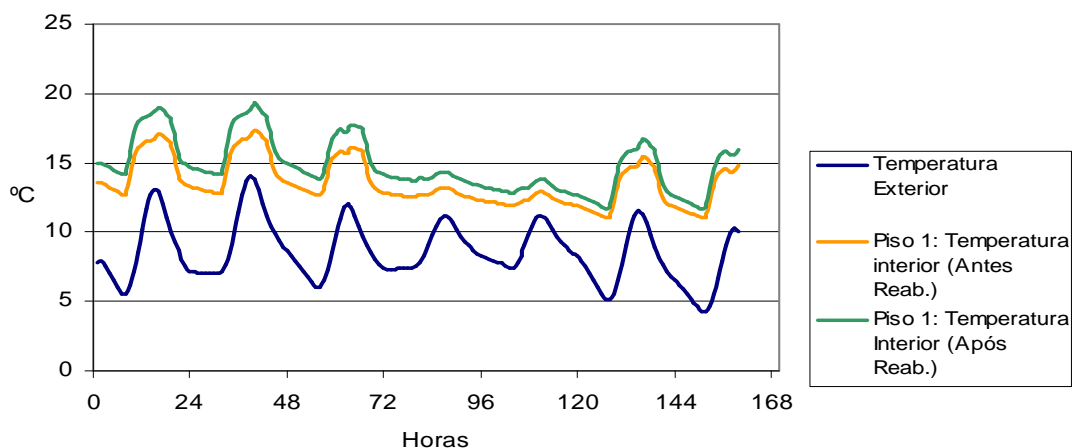


Figura 6.1 – Distribuição das temperaturas horárias, na última semana de Janeiro, para o primeiro piso

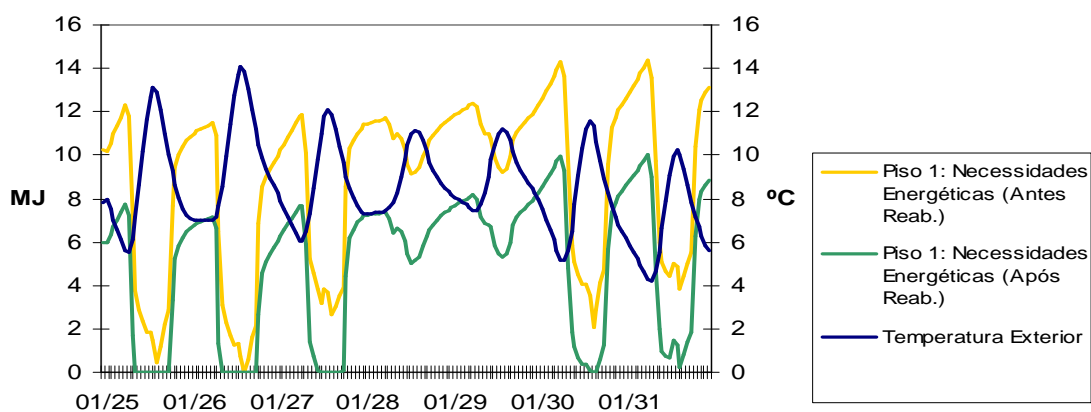


Figura 6.2 – Evolução das necessidades energéticas horárias, na última semana de Janeiro, para o primeiro piso

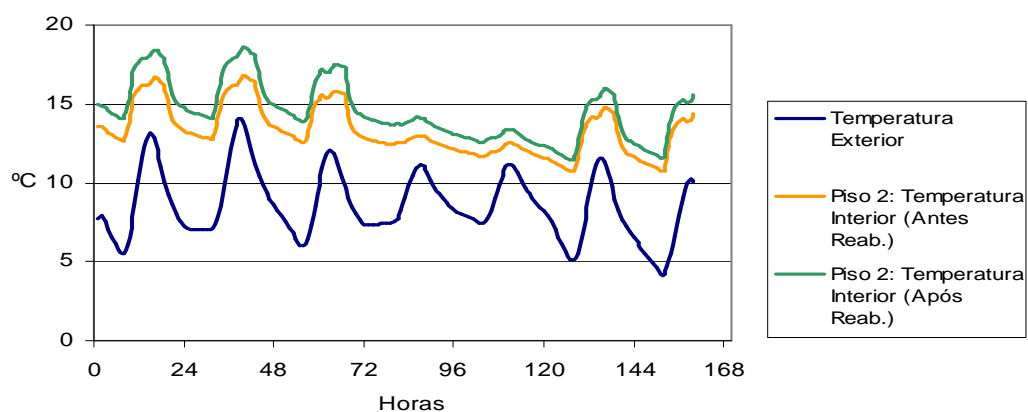


Figura 6.3 – Distribuição das temperaturas horárias, na última semana de Janeiro, para o segundo piso

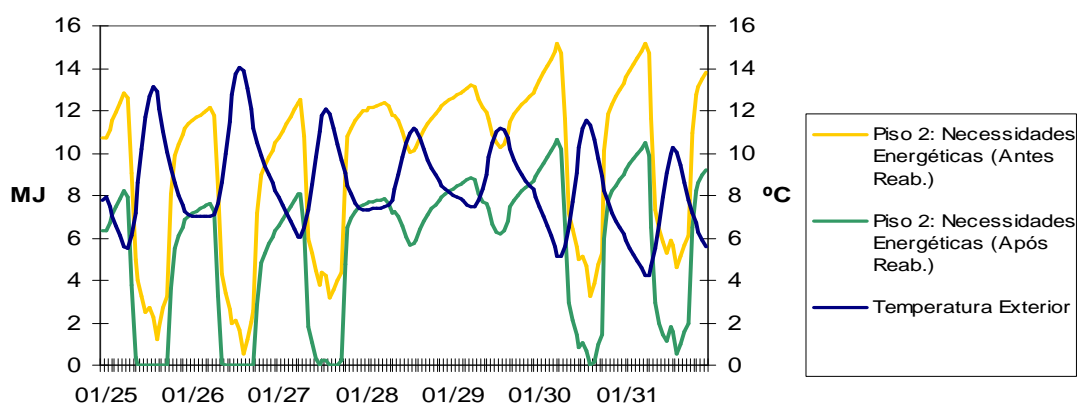


Figura 6.4 – Evolução das necessidades energéticas horárias, na última semana de Janeiro, para o segundo piso

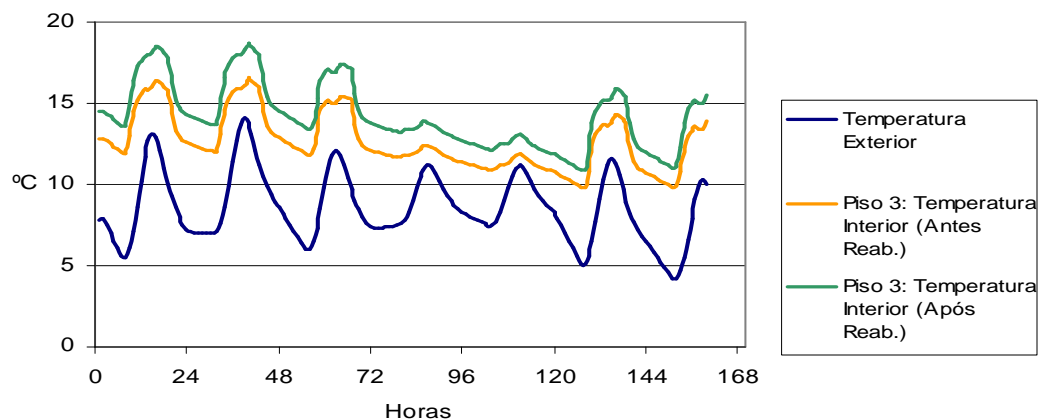


Figura 6.5 – Distribuição das temperaturas horárias, na última semana de Janeiro, para o terceiro piso

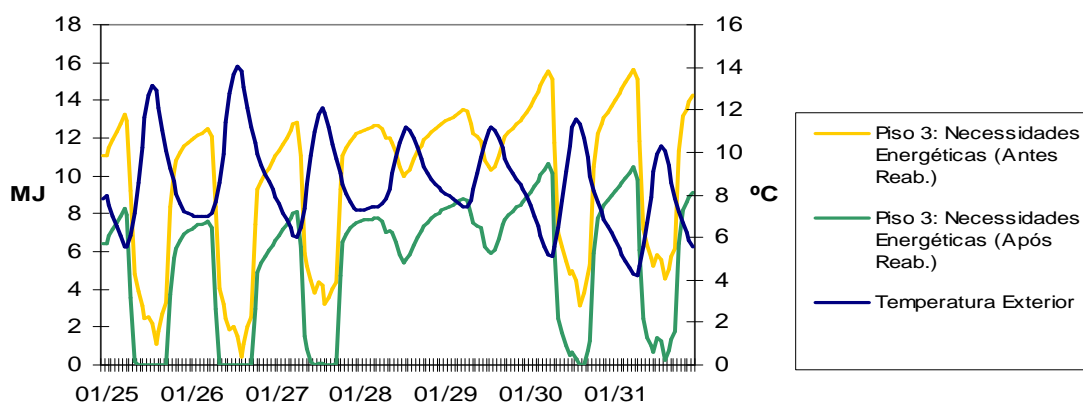


Figura 6.6 – Evolução das necessidades energéticas horárias, na última semana de Janeiro, para o terceiro piso

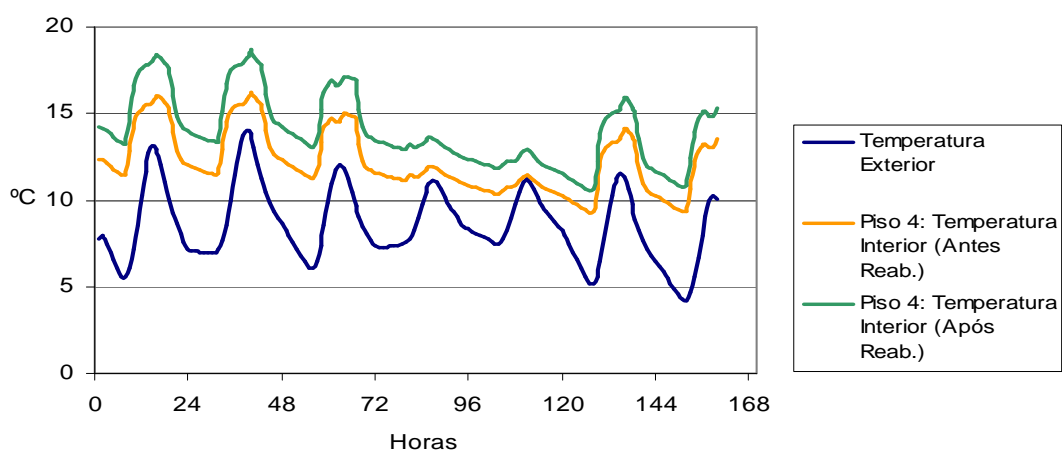


Figura 6.7 – Distribuição das temperaturas horárias, na última semana de Janeiro, para o quarto piso

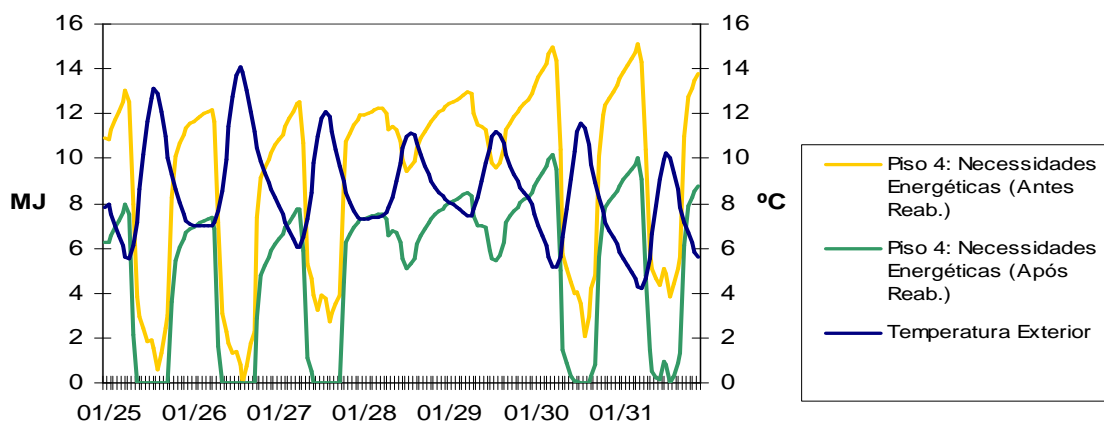


Figura 6.8 – Evolução das necessidades energéticas horárias, na última semana de Janeiro, para o quarto piso

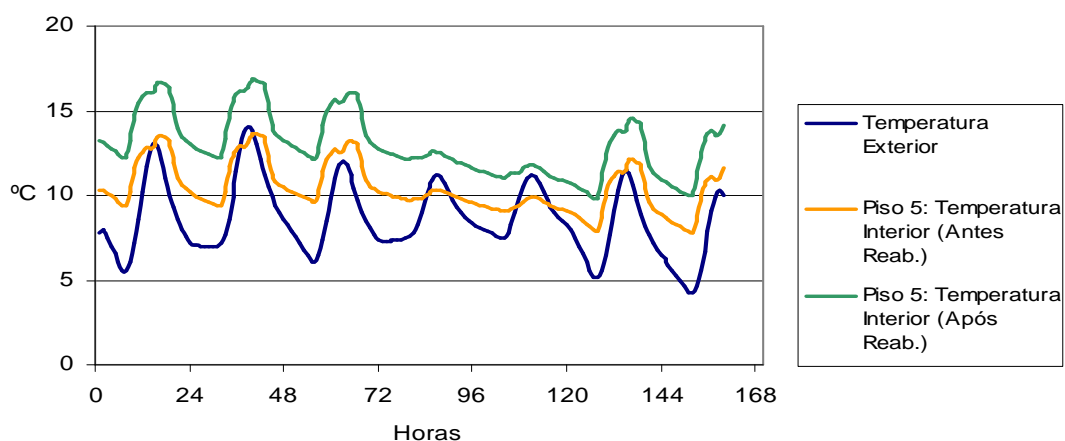


Figura 6.9 – Distribuição das temperaturas horárias, na última semana de Janeiro, para o quinto piso

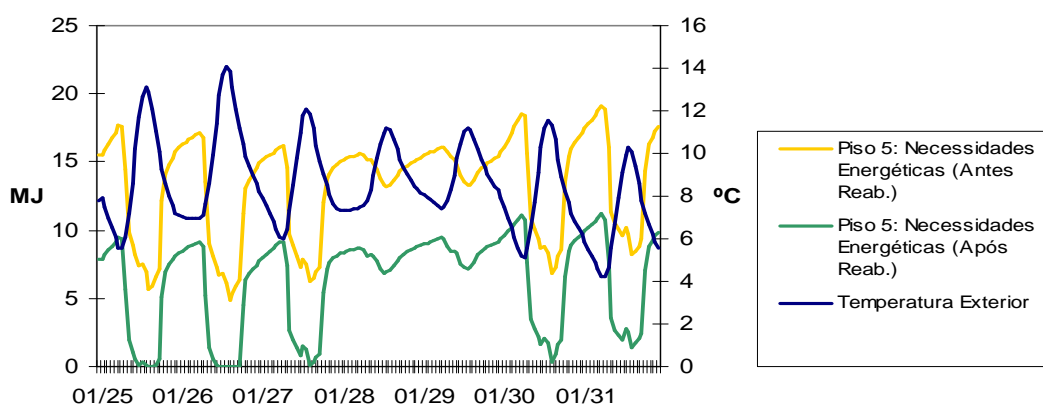


Figura 6.10 – Evolução das necessidades energéticas horárias, na última semana de Janeiro, para o quinto piso

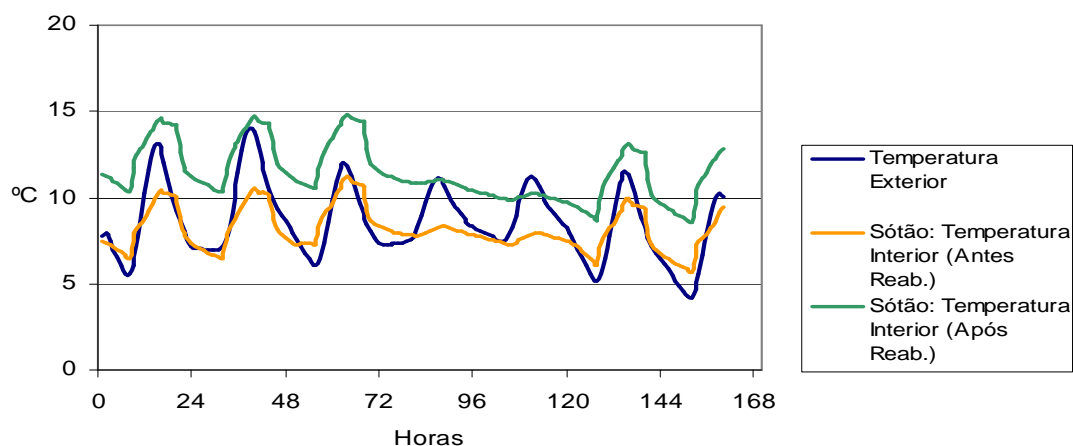


Figura 6.11 – Distribuição das temperaturas horárias, na última semana de Janeiro, para o sótão

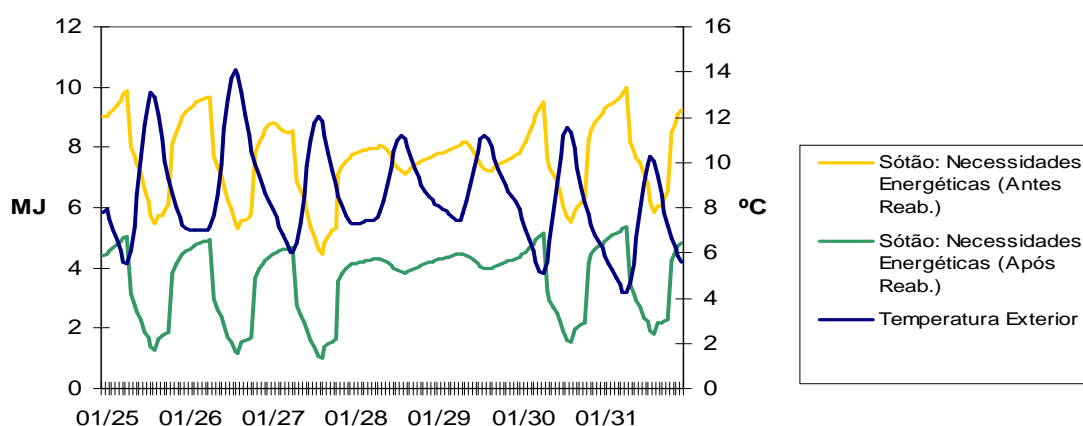


Figura 6.12 – Evolução das necessidades energéticas horárias, na última semana de Janeiro, para o sótão

Analisando o comportamento do edificado após a reabilitação, constata-se uma significativa diminuição das necessidades de energia para aquecimento nos diferentes pisos. Como seria de esperar, à medida que a temperatura exterior diminui as suas necessidades de energia para aquecimento aumentam.

Após a reabilitação, verificam-se, para o período de Inverno, temperaturas interiores ligeiramente superiores às apresentadas antes da reabilitação térmica. Este facto será traduzido em menores necessidades de energia para aquecimento, com valores próximos de metade daquelas que seriam necessárias com as soluções construtivas actuais.

Assim, enquanto antes da reabilitação o edifício possuía necessidades de energia de aquecimento a rondar os 39851,05kWh, após a reabilitação apenas necessitará de 20314,18kWh.



É de notar as semelhanças das temperaturas interiores e necessidades energéticas para aquecimento dos pisos intermédios. Tal era expectável, dado possuírem as mesmas soluções construtivas e áreas úteis semelhantes.

Outra constatação que poderá ser obtida dos gráficos apresentados neste subcapítulo é a relativa à menor amplitude térmica da temperatura interior comparativamente com a exterior, quer antes, quer após a reabilitação.

Contudo, após reabilitação, a temperatura interior dos diferentes pisos apresenta-se quase sempre superior à temperatura ambiente exterior, verificando-se, assim, a eficácia da solução de reabilitação proposta para o edifício em estudo no período de Inverno

## 6.2 - Evolução das necessidades energéticas após reabilitação na estação de arrefecimento (Verão) – Estratégia A:

Os gráficos apresentados nas Figuras 6.13 a 6.24, são referentes às temperaturas e necessidades energéticas horárias do edifício, para os diferentes pisos, antes e após a reabilitação, de 15 a 21 de Julho.

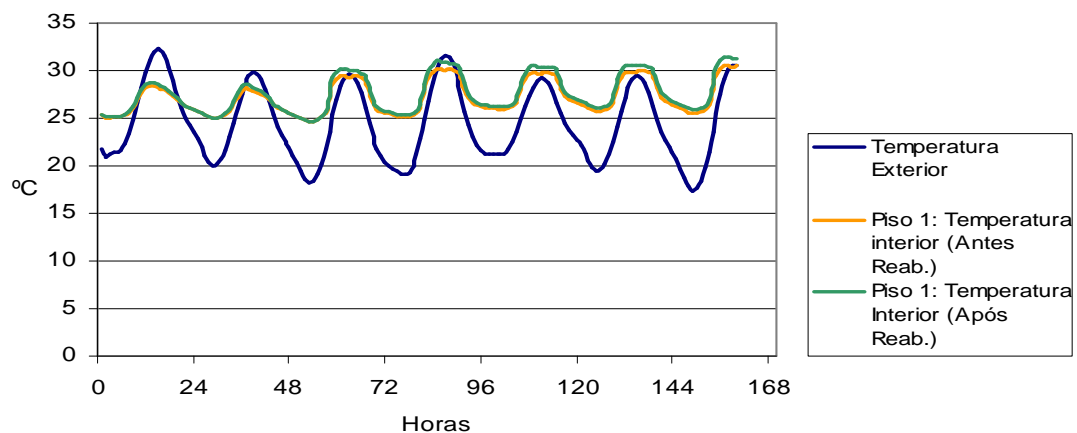


Figura 6.13 – Evolução das necessidades energéticas antes e após a reabilitação, na terceira semana de Julho, o primeiro piso

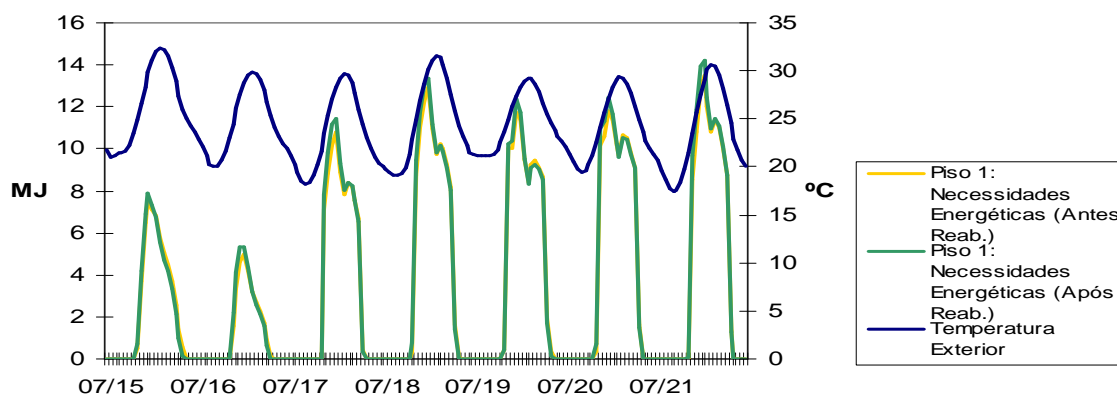


Figura 6.14 – Distribuição das temperaturas e das necessidades energéticas diárias, na terceira semana de Julho, para o primeiro piso

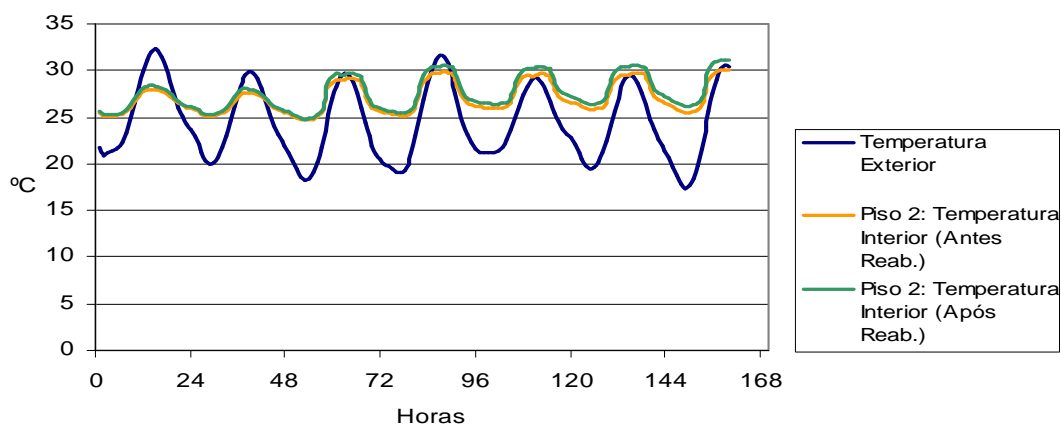


Figura 6.15 – Evolução das necessidades energéticas antes e após a reabilitação, na terceira semana de Julho, para o segundo piso

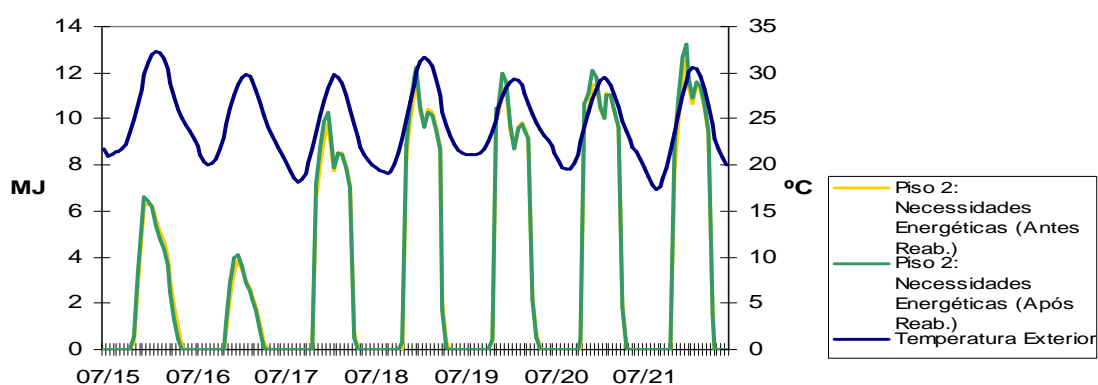


Figura 6.16 – Distribuição das temperaturas e das necessidades energéticas diárias, na terceira semana de Julho, para o segundo piso

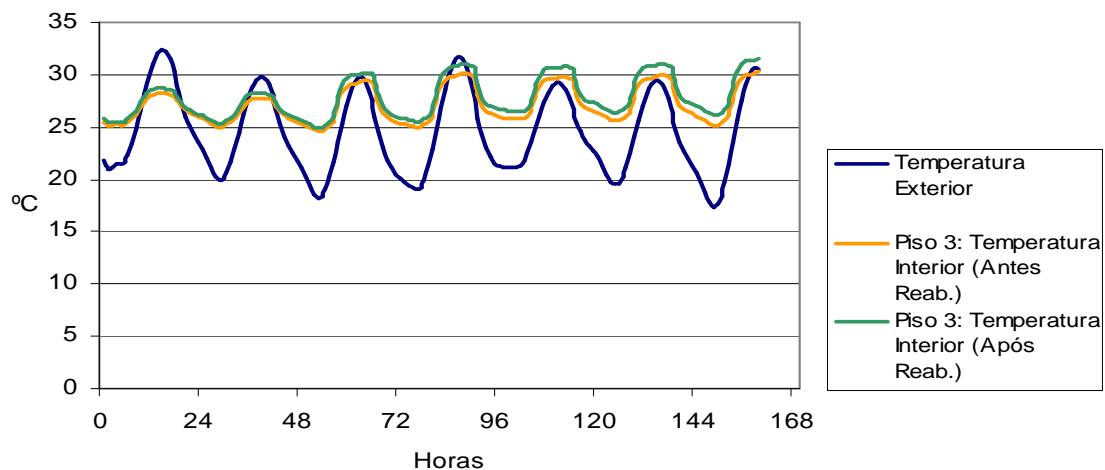


Figura 6.17 – Evolução das necessidades energéticas antes e após a reabilitação, na terceira semana de Julho, para o terceiro piso

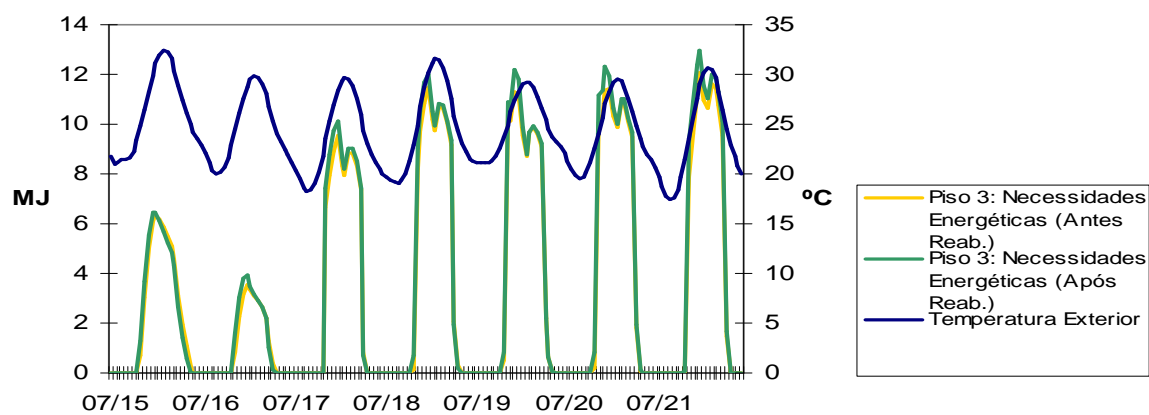


Figura 6.18 – Distribuição das temperaturas e das necessidades energéticas diárias, na terceira semana de Julho, para o terceiro piso

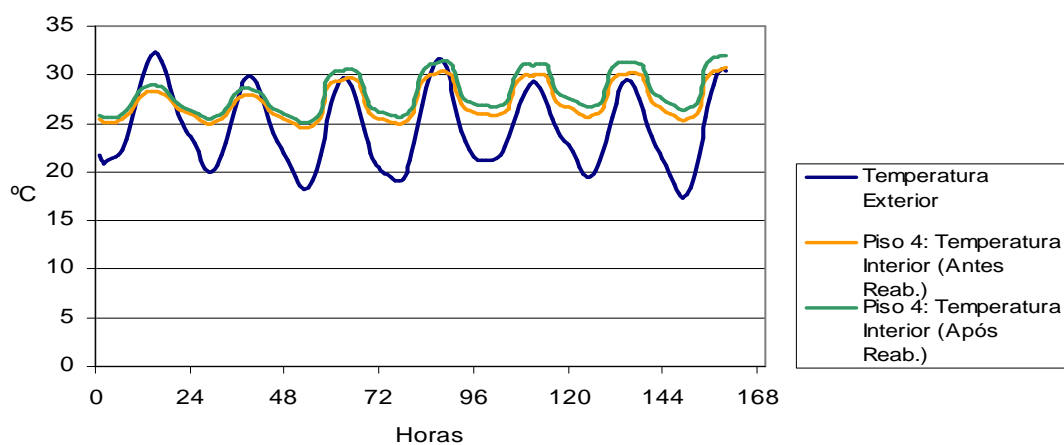


Figura 6.19 – Evolução das necessidades energéticas antes e após a reabilitação, na terceira semana de Julho, para o quarto piso

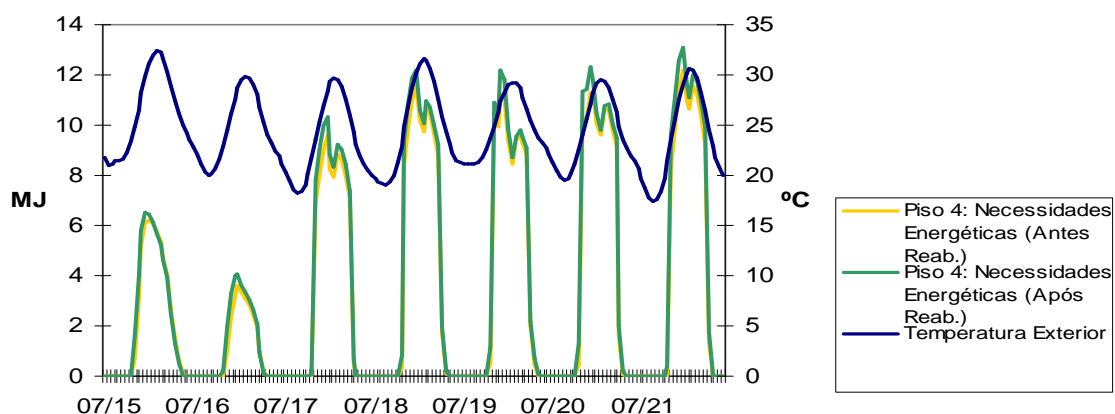


Figura 6.20 – Distribuição das temperaturas e das necessidades energéticas diárias, na terceira semana de Julho, para o quarto piso

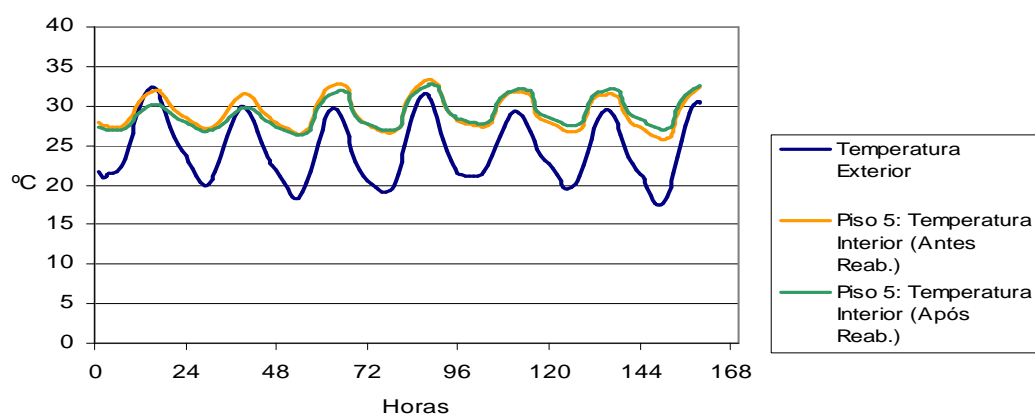


Figura 6.21 – Evolução das necessidades energéticas antes e após a reabilitação, na terceira semana de Julho, para o quinto piso

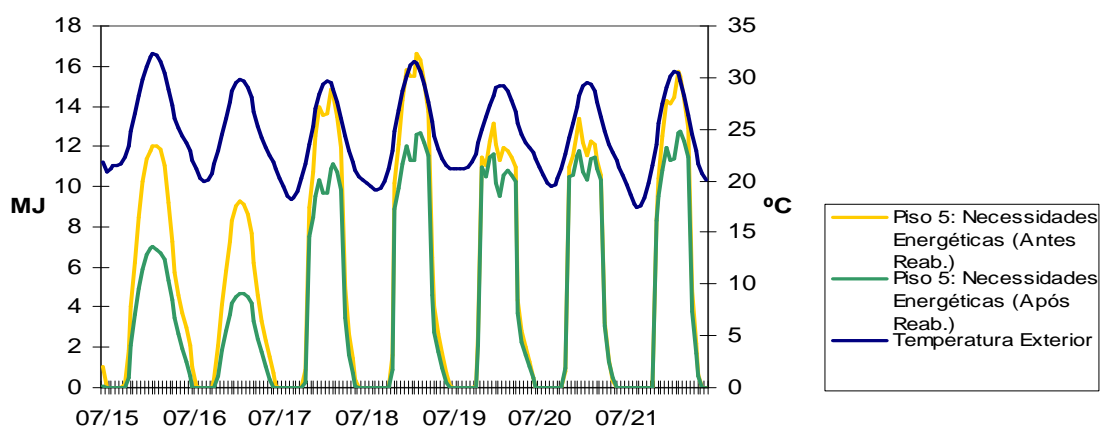


Figura 6.22 – Distribuição das temperaturas e das necessidades energéticas diárias, na terceira semana de Julho, para o quinto piso

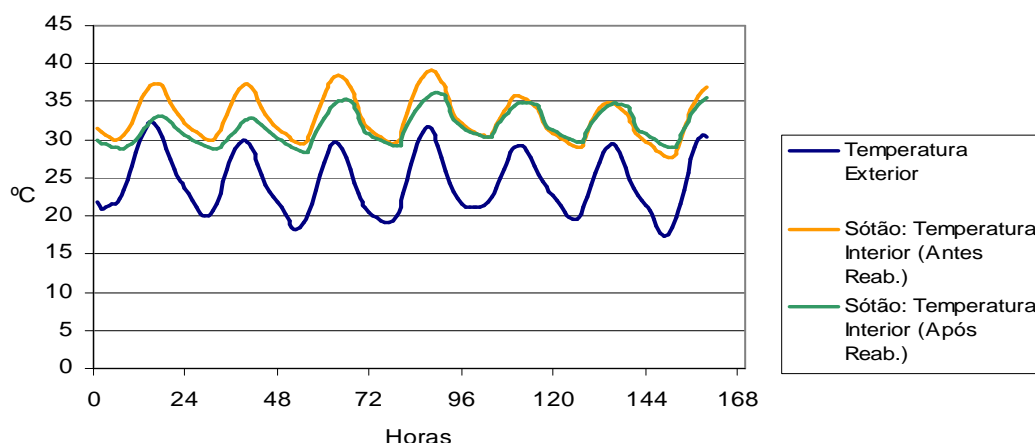


Figura 6.23 – Evolução das necessidades energéticas antes e após a reabilitação, na terceira semana de Julho, para o sótão

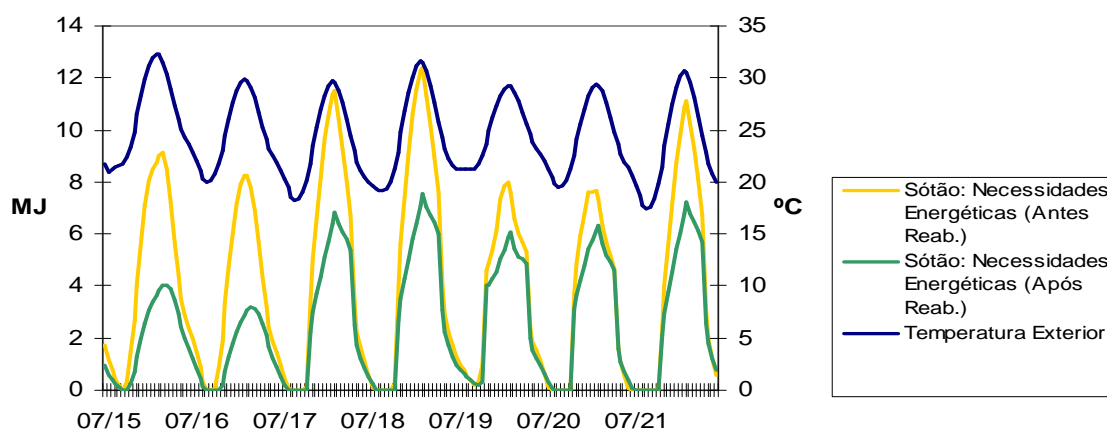


Figura 6.24 – Distribuição das temperaturas e das necessidades energéticas diárias, na terceira semana de Julho, para o sótão

Relativamente aos gráficos apresentados nas Figuras 6.13 a 6.24, referentes ao período de Verão, notam-se apenas pequenas diferenças entre os valores apresentados pelo edificado antes e após a reabilitação. A redução da inércia térmica do edifício motivada pela colocação do isolamento térmico pelo interior, foi um factor negativo da reabilitação, mas, tal como já foi referido, a sua inclusão pelo exterior não era viável.

De salientar o facto da reabilitação proporcionar um decréscimo mais acentuado da temperatura interior durante o dia do que durante a noite, em resultado da redução da inércia térmica do edifício. Deste modo, no período de Verão, o aumento da resistência térmica da envolvente proporcionada pela reabilitação não contribui de uma forma tão evidente, como a verificada no Inverno, para o melhoramento do comportamento térmico do edifício.

Assim, pode-se concluir que no Verão, as temperaturas interiores e as necessidades energéticas se mantêm praticamente constantes em todos os pisos, registando-se apenas uma ligeira melhoria no sótão.

No Quadro 6.1 são apresentados os valores dos ganhos e perdas de calor associados às zonas térmicas em estudo, ao longo do período de Inverno, após reabilitação.

Estação de Inverno	Perdas Infiltração [kWh]	Ganhos Infiltração [kWh]	Ganhos Internos [kWh]	Perdas Envidraçados [kWh]	Ganhos Envidraçados [kWh]	Ganhos Envolvente [kWh]	Perdas Envolvente [kWh]	Nic [kWh]
Piso1	3952,29	0,036	3039,87	793,36	1197,67	218,40	2779,85	3290,39
Piso2	4121,16	0,18	3162,45	731,62	777,72	253,20	2649,40	3503,64
Piso3	3794,58	0,09	3162,45	1024,64	890,37	269,03	2715,11	3436,61
Piso4	3393,78	0,048	3162,45	1203,71	1217,28	265,97	3022,25	3231,23
Piso5	3046,83	0,28	3144,94	769,37	695,48	29,64	4069,46	4236,41
Sótão	1054,77	0,20	1524,67	-	-	0,023	2846,51	2615,90

Quadro 6.1 – Perdas e ganhos obtidos durante o Inverno, após reabilitação

Analisando os ganhos e perdas apresentados pelos diferentes pisos e comparando-os com os obtidos antes da reabilitação (Quadro 4.1), verifica-se um melhoramento geral do comportamento térmico do edifício. A melhoria da resistência térmica dos vãos envidraçados resultou numa diminuição das trocas de calor pelos mesmos, e a incorporação de isolamento térmico nos elementos da envolvente provocou, em resultado do aumento da sua resistência térmica, uma diminuição das perdas de calor interior no período de Inverno. Assim, tal como expectável, verifica-se uma redução das necessidades de energia para aquecimento.

No Quadro 6.2 estão indicados os valores dos ganhos e perdas que as diferentes zonas térmicas do edifício apresentam durante o período de Verão, após reabilitação.

Estação de Verão	Perdas Infiltração [kWh]	Ganhos Infiltração [kWh]	Ganhos Internos [kWh]	Perdas Envidraçados [kWh]	Ganhos Envidraçados [kWh]	Ganhos Envolvente [kWh]	Perdas Envolvente [kWh]	Nvc [kWh]
Piso1	1062,76	277,11	1869,84	272,02	1171,59	1057,38	1118,93	1891,61
Piso2	1112,12	290,45	1941,38	244,67	870,85	1085,97	1144,46	1656,31
Piso3	1000,54	262,14	1941,38	331,64	1091,84	1044,98	1197,56	1763,58
Piso4	917,50	229,15	1941,38	397,03	1317,63	1034,59	1170,89	1982,54
Piso5	908,43	210,60	1931,16	280,53	638,25	1005,39	657,88	1938,82
Sótão	365,08	74,03	1163,56	-	-	622,24	142,28	1345,98

Quadro 6.2 – Perdas e ganhos obtidos durante o Verão, após reabilitação

No Quadro 6.2 verificam-se valores próximos dos apresentados no Quadro 4.2, para as soluções construtivas actuais. Isto é resultado da aplicação do isolamento térmico pelo interior melhorando a resistência térmica da envolvente e proporcionando assim uma diminuição da inércia. Deste modo, verifica-se que, para a estação de Verão, o piso que mais beneficiou da reabilitação realizada foi o sótão. O isolamento da cobertura teve um efeito bastante satisfatório, dada a sua aplicação dificultar os ganhos de calor que daí poderão advir e de não contribuir de forma significativa na redução da inércia da cobertura.

Assim, enquanto as necessidades energéticas para os quatro primeiros pisos, após a reabilitação, aumentam ligeiramente, a dos dois últimos pisos diminuem, traduzindo-se, assim, numa necessidade global do edifício semelhante em ambas as soluções.

### 6.3 - Comparação entre os resultados obtidos pelo *Energy Plus* e RCCTE, após reabilitação – Estratégia A:

Apresentam-se nas Figuras 6.25 e 6.26 os resultados obtidos pelo *Energy Plus* e pelo RCCTE, correspondentes ao edifício como um todo:

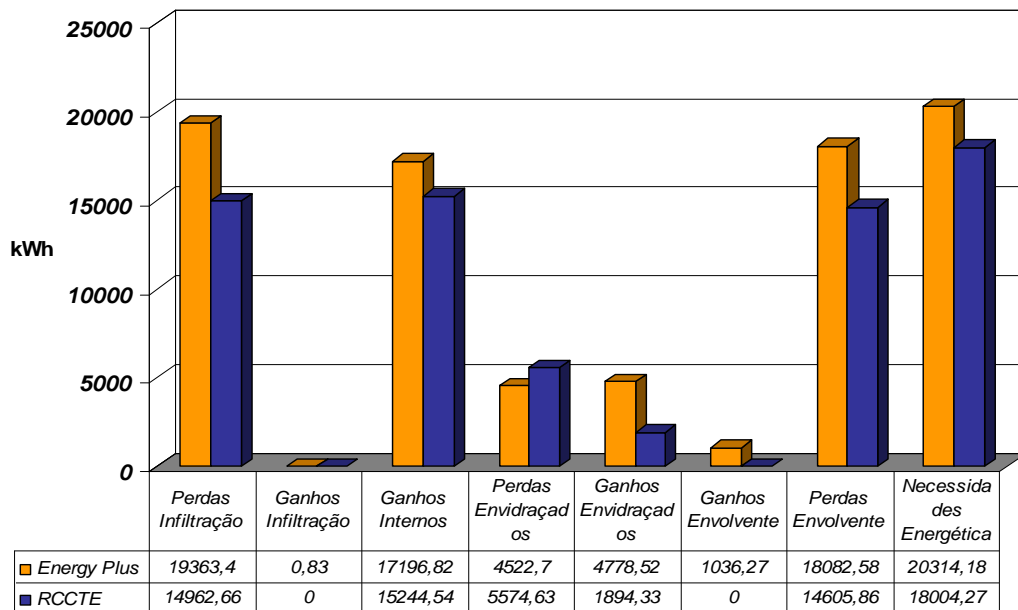


Figura 6.25 – Comparação dos valores das perdas e ganhos no Inverno, após reabilitação

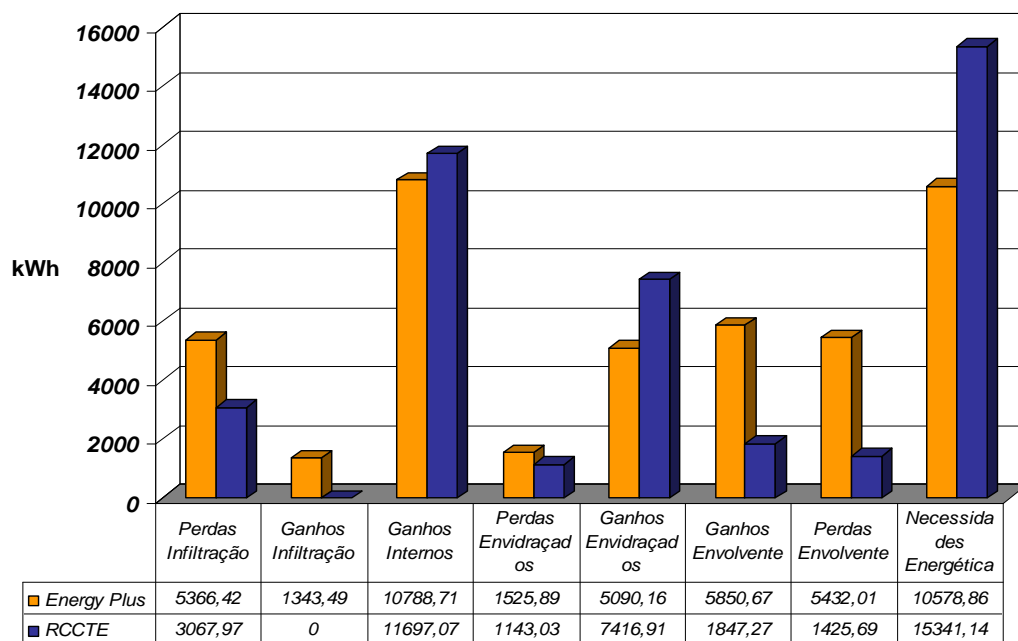


Figura 6.26 – Comparação dos valores das perdas e ganhos no Verão, após reabilitação

As diferenças de valores apresentados, nos gráficos das Figuras 6.25 e 6.26, pelos dois métodos de análise, seguem o mesmo princípio do definido aquando do estudo do edifício antes da reabilitação. Contudo, há que salientar o facto do RCCTE atribuir uma diminuição



dos ganhos internos do edifício após a reabilitação térmica, em resultado da redução da área útil, e o *Energy Plus* assumir o mesmo valor antes e após a intervenção.

Esta redução da área útil aquando da abordagem pelo RCCTE implica uma diminuição do volume e a consequente diminuição das perdas por infiltração. No entanto, a razão principal para a diferença registada nas perdas por infiltração, pelo *Energy Plus* e o RCCTE, resulta do facto de ambos possuírem metodologias de cálculo diferentes.

Salienta-se ainda que, contrariamente ao que sucede antes da reabilitação, no período de Inverno, as necessidades energéticas apresentadas pelo edifício com a abordagem pelo *Energy Plus* são ligeiramente superiores às obtidas com o RCCTE.

Da análise do gráfico da Figura 6.26 verifica-se, para os dois métodos de análise, uma diferença acentuada entre os ganhos e perdas pelos envidraçados. Este facto é prejudicial do ponto de vista do comportamento térmico do edifício, dado neste período se pretender reduzir os ganhos de calor, a fim de atenuar as suas necessidades de arrefecimento. Há também que salientar o facto de na solução de reabilitação adoptada, se terem substituído os vãos envidraçados e de se ter alterado a protecção interior para cortinas opacas. Contudo, no que respeita às necessidades energéticas para arrefecimento do edifício, verifica-se que as mesmas são idênticas àquelas que foram obtidas aquando da análise do edifício com as suas soluções construtivas actuais (Figura 4.17).

## **6.4 - Estratégias atinentes às infiltrações – Estratégia A + B:**

As estratégias a adoptar num edifício para promover o seu bom desempenho térmico, poderão não passar apenas pelo aumento da resistência dos elementos da envolvente e pelo aumento ou diminuição dos ganhos solares no Inverno e no Verão, respectivamente.

Outra estratégia a ter em conta está relacionada com as renovações de ar apresentadas pelo edifício o longo do ano.

Dado que as renovações do ar são prejudiciais no Inverno e benéficas no Verão, deve ser considerada uma maior taxa destas durante o período de Verão e menor para o período de Inverno. Contudo, ao longo do dia, também poderá haver alternância da referida taxa, aumentando ou diminuindo durante o dia ou noite.

Assim sendo, em vez de se considerar a taxa de renovação horária constante ao longo do ano, será simulada uma estratégia de ventilação diferente de acordo com a evolução da ocorrência

da taxa de renovação ao longo do ano, mas que em valor médio anual, será o valor utilizado pelo RCCTE ( $0,90 \text{ h}^{-1}$ ).

Considerando uma taxa média de  $0,60 \text{ h}^{-1}$  para o Inverno, determinou-se a correspondente taxa para o período de Verão, de modo a perfazer os referidos  $0,90 \text{ h}^{-1}$  anuais:

$$R_{ph_{\text{Verão}}} \times 4 + 0,60 \times 5,3 = 0,90 \times 9,3 \Leftrightarrow R_{ph_{\text{Verão}}} \approx 1,30 \text{ h}^{-1}$$

No entanto, enquanto se considerou para o Inverno uma renovação de ar maior durante o dia, no Verão a taxa é maior durante a noite. Deste modo, assumiu-se, para o período de Inverno, uma taxa de  $1,2 \text{ h}^{-1}$ , das 8h às 20h, e nula nas restantes horas. No período de Verão, a taxa é nula das 8h às 20h e de  $2,6 \text{ h}^{-1}$  nas restantes horas. As Figuras 6.27 e 6.28 comparam as necessidades de energia diárias apresentadas por um piso intermédio (Piso 3), para uma taxa renovação horária constante e variável, nos dois períodos referidos, após reabilitação:

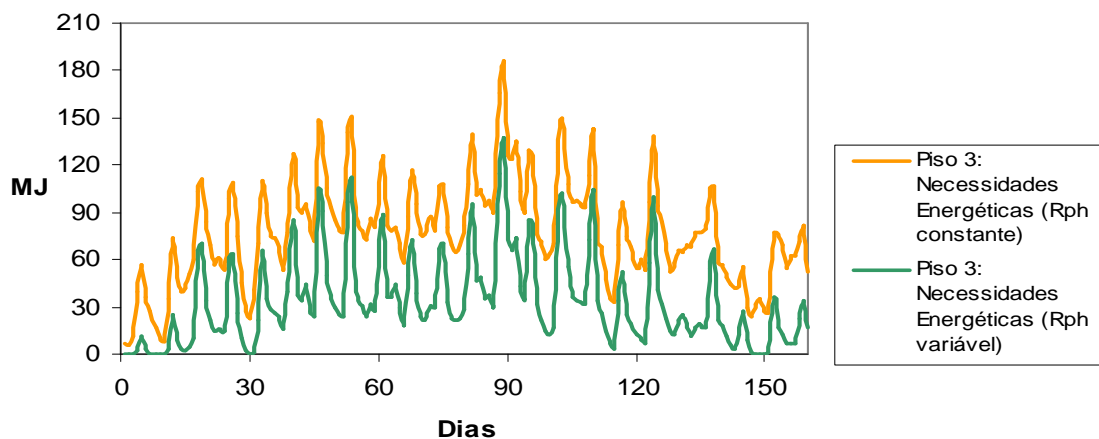


Figura 6.27 – Comparação das necessidades de energia para aquecimento para taxas de renovações horárias constante e variável, durante o período de Inverno.

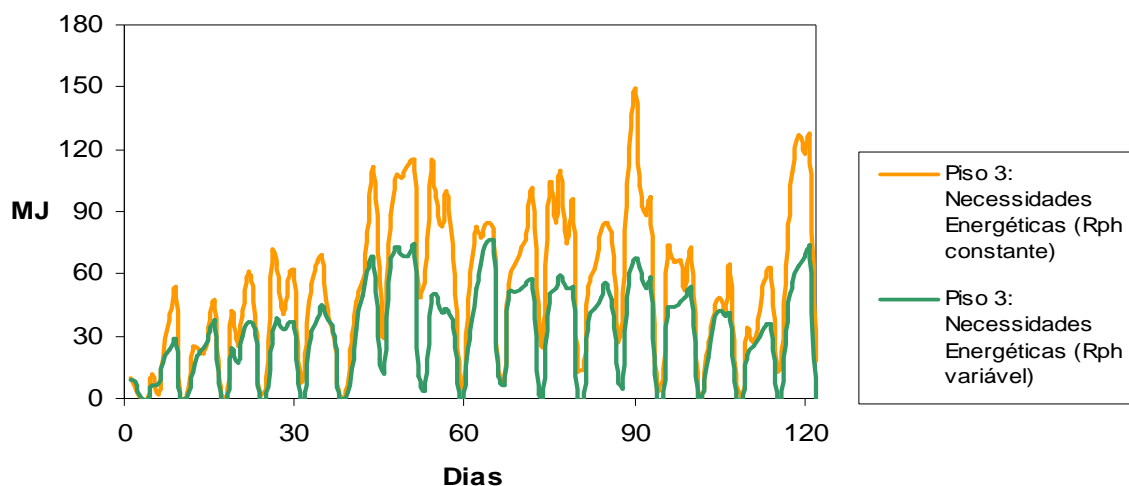


Figura 6.28 – Comparação das necessidades de energia para arrefecimento para taxas de renovações horárias constante e variável, durante o período de Verão.

Analisando as Figuras 6.27 e 6.28 verificam-se reduções das necessidades de energia para aquecimento e arrefecimento após a variação da taxa de renovação média anual. Enquanto no Inverno a diferença média diária de necessidades de energia para aquecimento é de 44,02 J, no Verão a diferença é de 20,56 J.

Assim, a evolução da taxa de renovação horária teve um maior impacto no Inverno que no Verão, dado as suas perdas por infiltração serem muito superiores às verificadas no Verão. No entanto, apesar das reduções referidas, as necessidades de energia para aquecimento continuam superiores às de arrefecimento.

## Capítulo 7 - Estimativa de custos

A estimativa de custos de uma intervenção em obras de engenharia civil torna-se útil na medida em que nos possibilita conhecer antecipadamente os custos associados ao tipo de trabalho pretendido. No entanto, estimar custos de uma reabilitação poderá ser uma tarefa um pouco complicada, na medida em que o seu custo está dependente do estado de degradação do edifício e da profundidade da intervenção a realizar.

São muitos os engenheiros que se questionam sobre o tipo de intervenção a assumir quando se deparam com edifícios bastante degradados. Esta questão pode ser ultrapassada recorrendo à estimativa de custos das intervenções possíveis.

Hoje, em tempo de crise, o país apresenta cada vez mais habitações degradadas e deixadas ao abandono pelos respectivos proprietários. Deste modo, é necessário ponderar sobre a utilidade e as vantagens/desvantagens que o sector da reabilitação poderá trazer numa actuação sobre o edificado existente.

No presente trabalho serão elaboradas estimativas de custos para o edifício em estudo referentes a:

- Reabilitação Global;
- Reabilitação Térmica.

### 7.1 - Reabilitação Global

A estimativa da recuperação global do edifício teve como base o método proposto pelo manual *Reabilitação e Manutenção de Edifícios* (método MECREH) [5].

Foram feitas algumas alterações relativamente à estrutura de custos, de forma a este poder corresponder de uma melhor forma ao edifício em causa.

Os valores indicados no Quadro 7.1 representam a percentagem de custo que cada “subcapítulo” tem relativamente a todo o edifício.

Capítulo	Subcapítulo		%
<b>1 - Elementos Estruturais</b>	<b>1.1.</b>	<b>Fundações e Muros de Suporte</b>	<b>4,22</b>
	1.1.1.	Fundações Propriamente Ditas	2,89
	1.1.2.	Muros de Suporte	1,33
	<b>1.2.</b>	<b>Estrutura Portante Vertical</b>	<b>21,58</b>
	1.2.1.	Estruturas Reticuladas	-
	1.2.2.	Paredes Resistentes	21,58
	<b>1.3.</b>	<b>Estruturas De Escadas e Pavimentos</b>	<b>8,74</b>
	1.3.1.	Lajes (Estrutura de)	7,89
<b>2 - Envolvente Exterior</b>	1.3.2.	Escadas (Estruturas de)	0,85
	<b>2.1.</b>	<b>Pavimentos Térreos</b>	<b>0,96</b>
	<b>2.2.</b>	<b>Revestimentos de Paredes Exteriores</b>	<b>0,86</b>
	<b>2.3.</b>	<b>Vãos</b>	<b>10,52</b>
	2.3.1.	Caixilhos e Vidros	6,82
	2.3.2.	Elementos de Ocultação	3,71
	<b>2.4.</b>	<b>Cobertura</b>	<b>3,52</b>
	2.4.1.	Estrutura	1,87
<b>3 - Trabalhos Interiores (Fogos)</b>	2.4.2.	Revestimento	0,66
	2.4.3.	Outros	0,99
	<b>3.1.</b>	<b>Paredes não Resistentes</b>	<b>4,87</b>
	<b>3.2.</b>	<b>Revestimentos</b>	<b>16,01</b>
	3.2.1.	Pavimentos	4,49
	3.2.2.	Paredes	5,03
	3.2.3.	Tectos	6,49
	<b>3.3.</b>	<b>Equipamentos</b>	<b>3,04</b>
	3.3.1.	Cozinhas	1,66
	3.3.2.	Casas de banho	1,38
	<b>3.4.</b>	<b>Instalações</b>	<b>6,09</b>
	3.4.1.	Águas (Incluindo Torneiras)	1,17
<b>4 - Trabalhos Interiores (Zonas Comuns)</b>	3.4.2.	Esgotos	0,70
	3.4.3.	Electricidade e Telecomunicações	4,22
	<b>3.5.</b>	<b>Vãos Interiores</b>	<b>5,39</b>
	<b>4.1.</b>	<b>Revestimentos</b>	<b>6,43</b>
	4.1.1.	Circulações	0,38
	4.1.1.1.	Pavimentos	1,74
	4.1.1.2.	Paredes e Tectos	4,31
	4.1.2.	Outros	-
	<b>4.2.</b>	<b>Instalações</b>	<b>2,49</b>
	4.2.1.	Águas	0,12
	4.2.2.	Esgotos	0,17
	4.2.3.	Electricidade e Telecomunicações	2,21
<b>5 - Trabalhos e Equipamentos Suplementares</b>	<b>4.3.</b>	<b>Outros</b>	<b>2,61</b>
	<b>5.1.</b>	<b>Outros Equipamentos</b>	<b>2,67</b>
	5.1.1.	Elevadores	2,67
	5.1.2.	Outros	-
			<b>100,00</b>

Quadro 7.1 – Estrutura de custos para o edifício em estudo

Foram ainda considerados quatro estados de degradação possíveis aos quais corresponde uma percentagem de degradação física do ponto de vista económico, face à construção de raiz.

No Quadro 7.2 encontram-se identificados os vários estados e a respectiva percentagem de degradação:

<b>Estado de degradação</b>	<b>% Degradação Física (económica)</b>
Bom	0
Razoável	35
Sofrível	75
Mau	120

Quadro 7.2 – Estados de degradação física a considerar para o edifício

Para uma análise mais clara e concisa do Quadro 7.2 procede-se à descrição dos diversos níveis de degradação indicados na mesma: O estado “Bom” é atribuído quando não é necessário qualquer tipo de intervenção; o estado “Razoável” quando a intervenção a fazer é ligeira; o estado “Sofrível” quando a reparação a fazer é considerável; e o estado “Mau” quando é necessário proceder a um refazimento total do elemento analisado.

Tendo em conta a situação e conservação actual dos vários componentes do edifício foi atribuído um estado de degradação a cada elemento pertencente à estrutura de custos.

A percentagem de intervenção de cada elemento, bem como o da respectiva intervenção global é obtido pela multiplicação do valor existente na estrutura de custos pela percentagem de degradação física do mesmo.

<b>Subcapítulo</b>	<b>% Custos</b>	<b>Estado</b>	<b>% degradação</b>	<b>% Intervenção</b>
<b>Fundações e Muros de Suporte</b>	<b>4,22</b>			
Fundações Propriamente Ditas	2,89	Sofrível	75	2,17
Muros de Suporte	1,33	Razoável	35	0,47
<b>Estrutura Portante Vertical</b>	<b>21,58</b>			
Estruturas Reticuladas	-			
Paredes Resistentes	21,58	Razoável	35	7,55
<b>Estruturas De Escadas e Pavimentos</b>	<b>8,74</b>			
Lajes (Estrutura de)	7,89	Bom	0	0,00
Escadas (Estruturas de)	0,85	Bom	0	0,00
<b>Pavimentos Térreos</b>	<b>0,96</b>	Bom	0	0,00
<b>Revestimentos de Paredes Exteriores</b>	<b>0,86</b>	Razoável	35	0,30
<b>Vãos</b>	<b>10,52</b>			
Caixilhos e Vidros	6,82	Mau	120	8,18
Elementos de Ocultação	3,71	Razoável	35	1,30
<b>Cobertura</b>	<b>3,52</b>			
Estrutura	1,87	Sofrível	75	1,40
Revestimento	0,66	Sofrível	75	0,50
Outros	0,99	Sofrível	75	0,74
<b>Paredes não Resistentes</b>	<b>4,87</b>	Razoável	35	1,70
<b>Revestimentos</b>	<b>16,01</b>			

Pavimentos	4,49	Mau	120	5,39
Paredes	5,03	Razoável	35	1,76
Tectos	6,49	Razoável	35	2,27
<b>Equipamentos</b>	<b>3,04</b>			
Cozinhas	1,66	Mau	120	1,99
Casas de banho	1,38	Mau	120	1,66
<b>Instalações</b>	<b>6,09</b>			
Águas (Incluindo Torneiras)	1,17	Sofrível	75	0,88
Esgotos	0,70	Sofrível	75	0,53
Electricidade e Telecomunicações	4,22	Sofrível	75	3,17
<b>Vãos Interiores</b>	<b>5,39</b>	Sofrível	75	4,04
<b>Revestimentos</b>	<b>6,43</b>			
Circulações	0,38	Razoável	35	0,13
Pavimentos	1,74	Razoável	35	0,61
Paredes e Tectos	4,31	Razoável	35	1,51
Outros	-			
<b>Instalações</b>	<b>2,49</b>			
Águas	0,12	Sofrível	75	0,09
Esgotos	0,17	Sofrível	75	0,13
Electricidade e Telecomunicações	2,21	Sofrível	75	1,66
<b>Outros</b>	<b>2,61</b>	Razoável	35	0,91
<b>Outros Equipamentos</b>	<b>2,67</b>			
Elevadores	2,67	Razoável	35	0,93
Outros	-			
<b>% Total de Degradação</b>				<b>51,97</b>

Quadro 7.3 – Percentagem de degradação física do edifício

Somando as percentagens de intervenção de todos os elementos e multiplicando este valor pelo custo unitário do edifício novo e pela área bruta, obtém-se o custo estimado da recuperação global do edifício.

Todavia, dado existirem dificuldades na realização de trabalhos, devido ao reduzido espaço disponível para tal, o valor do custo total da recuperação é acrescido 25%.

Uma vez:

$$A_b = \text{Área bruta do edifício} = 1004m^2$$

E assumindo que:

$$C_n = \text{Custo unitário do edifício novo} = 630 \text{ €/m}^2$$

Então:

$$\text{Custo da reabilitação global} = 0,5197 \times 1004 \times 630 \times 1,25 = 410\,900,81 \text{ €}$$

## 7.2 - Reabilitação Térmica

A solução seleccionada, para dotar o edificado em estudo com um melhor comportamento térmico, consiste na utilização de materiais de isolamento térmico e de placas de gesso cartonado.

Para uma estimativa de custos desta reabilitação foram consultadas várias empresas, na área da Grande Lisboa (zona onde se localiza o edifício a reabilitar). Compendiando a informação obtida da mesma fonte, elaborou-se uma simples tabela de estimativa do custo em euros por metro quadrado para o edifício em estudo.

Trabalhos	Custo (€/m <sup>2</sup> )
Montagem	25
Pintura	6

Quadro 7.4 – Custo por metro quadrado da reabilitação dos elementos da envolvente

Na montagem, estão incluídos os custos do isolamento térmico, das placas de gesso cartonado e da mão-de-obra necessária para a sua aplicação. Considerou-se a pintura como um trabalho à parte uma vez a área a pintar ser superior à da montagem. A diferença de área entre os dois trabalhos deve-se ao facto de se pretender uma homogeneização, no que respeita à estética, de todo o espaço interior.

Sabendo a área da parede à qual se pretende fazer a dita “Montagem” e a área total de “Pintura”, obtém-se a estimativa do custo total da reabilitação térmica dos elementos opacos.

$$A_m = \text{Área de "Montagem"} = 719,98m^2$$

$$A_p = \text{Área de "Pintura"} = 831,31m^2$$

Deste modo:

$$C_{\text{Re ab.Term (ISOL)}} = 25 \times A_m + 6 \times A_p$$

$$C_{\text{Re ab.Term (ISOL)}} = 25 \times 719.98 + 6 \times 831.31 = 22987,36 \text{ €}$$

Outros custos associados à reabilitação térmica do dito edifício correspondem à remoção e instalação dos vãos envidraçados.



Tal como foi referido, o novo caixilho será de PVC e o vidro duplo incolor de dimensões 6mm-14mm-4mm. Para o efeito foi consultada uma empresa de fabrico e montagem de vãos envidraçados que apresentou um orçamento para os trabalhos a realizar. Assim:

*Custo de montagem dos vãos envidraçados = 19 000 €*

*Custo associado à remoção dos vãos envidraçados existentes = 950 €*

Assim, o custo total da reabilitação térmica será:

$$C_{\text{Re.ab.Term (ISOL+ENV)}} = 22987,36 + 19000 + 950 = 42937,36€$$

Deste modo, verifica-se que a inclusão de uma reabilitação térmica aquando da reabilitação global, proporciona um acréscimo do custo em cerca de 10%.

### 7.3 - Rentabilidade da Reabilitação Térmica

Um aspecto a considerar e que poderá ser questionado é o da rentabilidade económica da reabilitação térmica num edifício com estas características.

Hoje em dia, em situação de crise, esta questão ganha uma maior importância, e como tal é indispensável o seu estudo. Pretende-se com isto responder à seguinte questão: A partir de que ano o proprietário começa a obter rendimento do investimento efectuado?

De acordo com o RCCTE, as necessidades de aquecimento e arrefecimento do edifício no seu estado actual são de  $73,68 \text{ KWh} / \text{m}^2 \cdot \text{ano}$  e  $28,36 \text{ KWh} / \text{m}^2 \cdot \text{ano}$ , respectivamente.

Considerando o preço da electricidade a  $0,1211 \text{ €/KWh} + \text{IVA}(5\%)$  e a expressão de cálculo (8):

$$C = [N_{ic} + N_{vc}] \times P_{elect.} \quad (8)$$

Obtém-se o custo por metro quadrado ao ano:

$$C = [73,68 + 28,36] \times (0,1211 \times 1,05) = 12,97 \text{ €/m}^2 \cdot \text{ano}$$

Dado que a área útil do edifício é de  $582,75m^2$ , então:

$$C_f = 12,97 \times 582,75 = 7558,27 \text{ €/ano}$$

Com a reabilitação térmica, o edifício, de acordo com o RCCTE, passa a necessitar de  $31,55KWh/m^2.ano$  durante a estação de aquecimento, e de  $26,88KWh/m.ano$  durante a estação de arrefecimento.

Aplicando a mesma expressão (8) obtém-se o custo por metro quadrado ao ano de:

$$C_R = [31,55 + 26,88] \times (0,1211 \times 1,05) = 7,43 \text{ €/m}^2.ano$$

Dado a área útil ser  $570,70m^2$ , então:

$$C_{f_R} = 7,43 \times 570,70 = 4240,30 \text{ €/ano}$$

Importa, no entanto, ter em conta o investimento inicial correspondente à reabilitação térmica realizada. O valor desta é de 42937,36 €.

Seguidamente apresenta-se na Figura 7.1 um gráfico com duas rectas correspondendo, cada uma delas, aos custos de obtenção de conforto ao longo dos anos com e sem reabilitação.

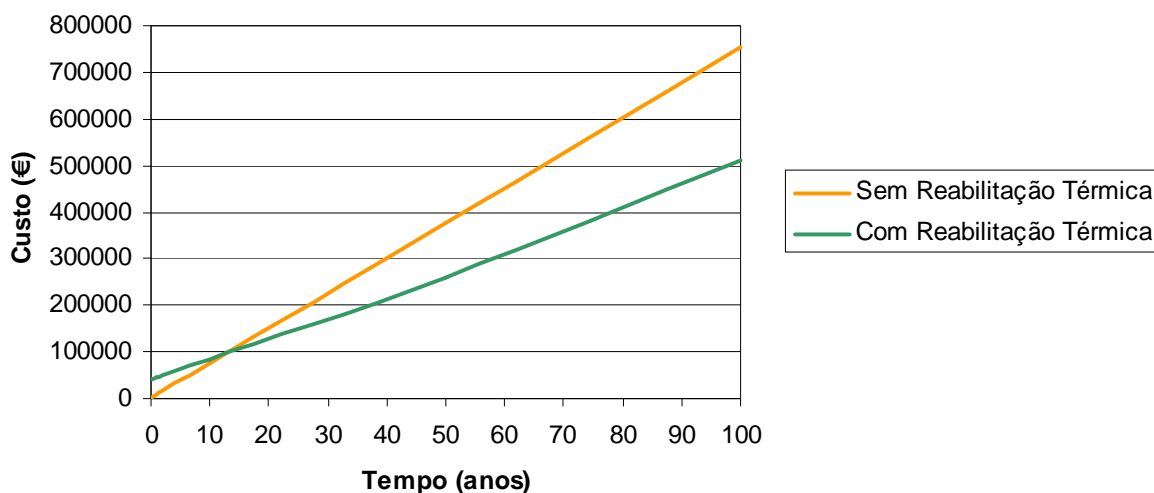


Figura 7.1 – Comparação dos custos necessários para a obtenção do conforto térmico interior, com e sem reabilitação térmica, ao longo dos anos

Deste modo, verifica-se que o investimento realizado começa a ser rentabilizado ao fim de 13 anos, valor este bastante aceitável se tivermos em conta que o tempo de vida útil dos edifícios é bastante superior.

No caso concreto do edifício em estudo, em virtude deste se situar na zona histórica de Lisboa, o que implica a preservação da sua traça, considera-se vantajosa a inclusão da reabilitação térmica aquando da elaboração da recuperação global.

## Capítulo 8 – Conclusões

Terminado o estudo do edifício, importa referir as conclusões e observações finais que dele se obtiveram.

De salientar, em primeiro lugar, o facto do edifício estudado se enquadrar no grupo de edifícios pombalinos, cujas soluções construtivas diferem, significativamente, daquelas que são usualmente utilizadas na construção dos edifícios novos.

Passam-se a referir os resultados obtidos na análise do edifício antes e após a reabilitação térmica:

### 1. Antes da reabilitação:

Da análise do comportamento térmico do edifício, verifica-se que o mesmo cumpre as necessidades máximas de arrefecimento estabelecidas pelo RCCTE, mas ultrapassa as necessidades de aquecimento máximas impostas pelo mesmo.

De acordo com a metodologia de análise térmica dinâmica, com recurso ao *Energy Plus*, o edifício apresenta necessidades de energia para aquecimento e arrefecimento de 39851,05kWh e 10563,84kWh, respectivamente.

A grande espessura das paredes e o facto de não incorporar qualquer isolamento térmico pelo interior origina a que a sua inércia térmica atinja um valor  $458 \text{Kg} / \text{m}^2$ .

No Inverno, as maiores perdas de calor do edifício surgem pelos elementos da envolvente (58,06%), seguidas das perdas por renovação do ar (30,73%) e, por último, das perdas pelos vãos envidraçados (11,21%).

Os ganhos são conseguidos, essencialmente, pelos ganhos internos resultantes da ocupação humana, iluminação e equipamentos existentes (76,96%), e pelos vãos envidraçados (22,69%), sendo quase insignificantes os ganhos obtidos pelos elementos da envolvente e da infiltração do ar.

No Verão, as perdas de calor surgem, tal como no Inverno, maioritariamente pelos elementos da envolvente (44,92%), seguindo-se as perdas por renovação do ar (38,75%) e pelos vãos envidraçados (16,33%).

Os ganhos de calor interior são proporcionados em primeiro lugar pelos ganhos internos (45,63%), seguindo-se, contrariamente ao verificado no Inverno, os ganhos pelos elementos da envolvente (30,44%). Os ganhos pelos vãos envidraçados também apresentam algum peso

para o aquecimento interior (18,18%) e, embora com menor contributo, os ganhos por infiltração (5,75%).

No entanto, aquando da análise dos valores referidos, é importante salientar que enquanto os ganhos de calor no Inverno são benéficos para o aquecimento interior, os ganhos no Verão podem ser prejudiciais, na medida que proporcionarão um maior sobreaquecimento interior.

## 2. Após a reabilitação:

Para um melhoramento do comportamento térmico do edifício, de forma a cumprir os limites máximos de necessidades de energia no Verão e Inverno, adoptou-se uma solução de reabilitação que não interferisse na sua fachada.

De acordo com os dados obtidos com recurso ao *Energy Plus*, após reabilitação, as necessidades de energia do edifício passam a ser de 20314,18kWh e 10578,86kWh para o período de aquecimento e arrefecimento, respectivamente.

Contrariamente ao verificado com as soluções construtivas actuais, após a reabilitação as perdas de calor durante o Inverno são causadas maioritariamente pela renovação do ar interior (46,14%). Em seguida seguem-se as perdas pelos elementos da envolvente (43,08%) e pelos vãos envidraçados (10,78%).

Relativamente aos ganhos de calor, estes são devidos aos ganhos internos (74,73%), aos vãos envidraçados (20,76%), aos ganhos pela envolvente (4,50%) e à infiltração do ar (0,01%).

No Verão, verifica-se, tal como na solução actual, que as perdas são maiores nos elementos da envolvente (44,08%), seguindo-se as perdas por infiltração do ar (43,54%) e pelos vãos envidraçados (12,38%).

Os ganhos são devidos aos ganhos internos (46,76%), aos ganhos pela envolvente (25,36%), aos ganhos pelos envidraçados (22,06%) e por infiltração (5,82%).

Após reabilitação verifica-se uma diminuição das suas necessidades de energia para aquecimento no Inverno em cerca de 49%. Embora esta diferença de necessidade energética seja significativa no Inverno, no Verão é insignificante.

Nos gráficos das Figuras 8.1 e 8.2 são apresentadas as diferenças obtidas nas trocas de calor, antes e após a reabilitação:

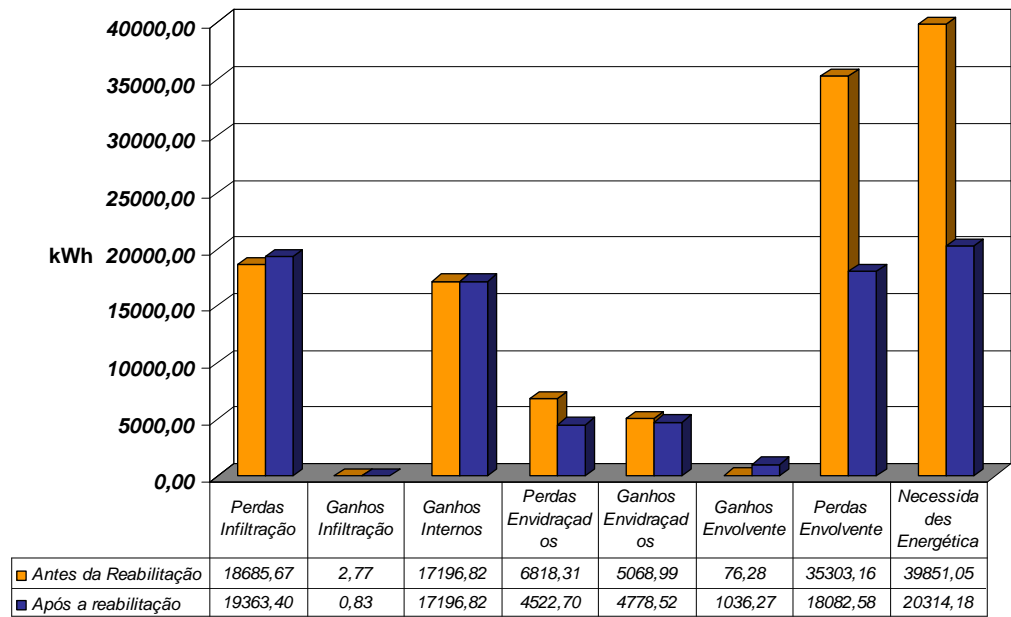


Figura 8.1 – Comparação das perdas e ganhos antes e após a reabilitação, durante o período de Inverno

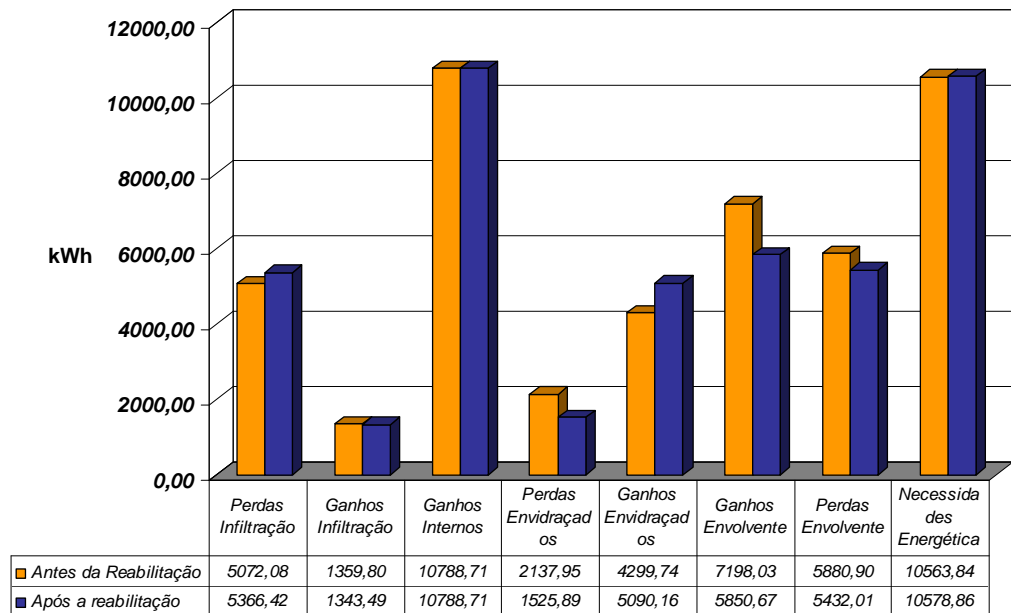


Figura 8.2 – Comparação das perdas e ganhos antes e após a reabilitação, durante o período de Verão

No Quadro 8.1 encontram-se sintetizadas as diferentes necessidades de energia, apresentadas pelo edifício, antes e após a reabilitação térmica, para as duas estratégias adoptadas:

	Antes da Reabilitação	Após a Reabilitação (Estratégia A)	Após a Reabilitação (Estratégia A+B)
Necessidades de energia para aquecimento (kWh)	39851,05	20314,18	11294,22
Necessidades de energia para arrefecimento (kWh)	10563,84	10578,86	7658,97

Quadro 8.1 – Necessidades energéticas do edifício antes e após reabilitação

Da análise efectuada pode-se concluir o seguinte:

- 1) A solução de reabilitação térmica adoptada será mais vantajosa durante o período de Inverno.
- 2) No período de Verão, os benefícios decorrentes da reabilitação têm pouco significado. Regista-se apenas uma melhoria no sótão.
- 3) Comparando o comportamento térmico dos diferentes pisos do edifício, verifica-se que o sótão e o quinto piso são aqueles que apresentam piores comportamentos, sendo o quinto piso o que necessita de maior energia para obtenção do conforto pretendido.
- 4) Relativamente aos pisos intermédios verificam-se comportamentos térmicos idênticos.
- 5) Para a redução das necessidades energéticas do edifício, podem-se utilizar estratégias ao nível dos elementos da envolvente opaca, dos vãos envidraçados e da infiltração do ar.
- 6) No que respeita à estimativa de custos realizada, constatou-se que o investimento feito para reabilitar termicamente o edifício passará a ser rentabilizado 13 anos após conclusão da obra.
- 7) Constatou-se, ainda, que a inclusão de uma reabilitação térmica, durante a reabilitação global, proporciona um acréscimo do custo global inferior a 10%.

## Referências Bibliográficas:

- [1] PORTO EDITORA, Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE), Decreto-Lei N° 80/2006, Lisboa, 2006.
- [2] RODRIGUES, António Moret e outros, *Térmica de Edifícios*, Orion, Lisboa, 2009.
- [3] FREITAS, Vasco Peixoto e vários, *3º Encontro sobre Patologia e Reabilitação de Edifícios*, Comissão Organizadora do PATORREB 2009, Porto, 2009.
- [4] REVISTA SEMESTRAL DE EDIFÍCIOS E MONUMENTOS, *Monumentos 21*, Direcção-Geral dos Edifício e Monumentos Nacionais, Lisboa, 2004.
- [5] FARINHA, Manuel Brazão e outros, *Reabilitação e Manutenção de Edifícios – Uma publicação prática com soluções e estratégias de reabilitação e manutenção de edifícios*, Verlag Dashofer, Lisboa, 2006.
- [6] CUSA, de Juan, *Renovação de Casas I*, Plátano, Lisboa, 1998.
- [7] HENRIQUES, F, *A Conservação do Património Histórico Edificado (Memória N°775)*, LNEC, Lisboa, 1991.
- [8] SANTOS, C.A. Pina e PAIVA, José A., *Coeficientes de Transmissão Térmica de Elementos da Envolvente dos Edifícios - ITE 28*, LNEC, Lisboa, 1996.
- [9] SANTOS, C.A. Pina e MATIAS Luís, *Coeficientes de Transmissão Térmica de Elementos da Envolvente dos Edifícios – ITE 50*, LNEC, Lisboa, 2006.
- [10] Input Output Reference, *The Encyclopedic Reference to Energy Plus Input and Output*, November, 2008.
- [11] GOUVEIA, Pedro Manuel, *Dissertação de Mestrado - Caracterização dos Impactes da Envolvente no Desempenho Térmico dos Edifícios*, IST, 2008.
- [13] APPLETON, João, *Reabilitação de Edifícios Antigos - Patologias e tecnologias de intervenção*, Orion, 2003.
- [14] BUECHE, Frederick J., *Física Geral*, McGraw-Hill, São Paulo, 1983.



- [15] ÍNDIAS, Maria Amélia, *Curso de Física*, McGraw-Hill, Portugal, 1992.

## Internet:

- |      |   |                                      |
|------|---|--------------------------------------|
| [14] | <a href="http://www.eco.edp.pt/">http://www.eco.edp.pt/</a>                     | Data da Consulta: 17/09/2008 – 23:15 |
| [15] | <a href="http://www.ine.pt/">http://www.ine.pt/</a>                             | Data da Consulta: 23/09/2008 – 23:40 |
| [16] | <a href="http://www.dem.uminho.pt/">http://www.dem.uminho.pt/</a>               | Data da Consulta: 24/09/2008 – 15:05 |
| [17] | <a href="http://www.saladefisica.cjb.net/">http://www.saladefisica.cjb.net/</a> | Data da Consulta: 24/09/2008 – 16:15 |
| [18] | <a href="http://br.geocities.com/">http://br.geocities.com/</a>                 | Data da Consulta: 24/09/2008 – 17:15 |
| [19] | <a href="http://www.quintacidade.com/">http://www.quintacidade.com/</a>         | Data da Consulta: 25/09/2008 – 21:20 |
| [20] | <a href="http://www.acepe.pt/">http://www.acepe.pt/</a>                         | Data da Consulta: 27/09/2008 – 15:15 |
| [21] | <a href="http://www.bcsdportugal.org/">http://www.bcsdportugal.org/</a>         | Data da Consulta: 13/10/2008 – 21:25 |
| [22] | <a href="http://www.labee.ufsc.br">http://www.labee.ufsc.br</a>                 | Data da Consulta: 10/11/2008 – 22:15 |
| [23] | <a href="http://www.construircasa.com/">http://www.construircasa.com/</a>       | Data da Consulta: 14/11/2008 – 15:30 |
| [24] | <a href="http://www.pavimagos.com/">http://www.pavimagos.com/</a>               | Data da Consulta: 17/11/2008 – 19:35 |
| [25] | <a href="http://www.maxit.pt/">http://www.maxit.pt/</a>                         | Data da Consulta: 03/12/2008 – 22:00 |
| [26] | <a href="http://www.alambi.net/">http://www.alambi.net/</a>                     | Data da Consulta: 15/12/2008 – 17:15 |

## **ANEXOS**